



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Redução do coeficiente de resistência (C_d) e coeficiente de sustentação (C_l) num Protótipo de Le Mans (LMP1)

Eduardo Emanuel Varandas da Silva
(Versão final após defesa)
Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Aeronáutica
(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Jorge Manuel Martins Barata

Covilhã, junho de 2015

Dedicatória

Avô desde sempre partilhaste a MODA, hoje e
sempre partilhamos as nossas conquistas contigo.

Varandas

Agradecimentos

Ao completar-se uma dissertação de mestrado, surge inevitavelmente a necessidade de recordar o trajeto percorrido e deixar registada a minha gratidão a todos os que sob as mais diversas formas e em diferentes contextos contribuíram para o bom sucesso deste trabalho. Daí que gostaria de prestar um sincero agradecimento:

Ao Professor Jorge Barata pela orientação, quando andava desorientado. O apoio incondicional, a enorme paciência e a leitura crítica e cuidada ao longo deste trabalho. Um sincero agradecimento por todos os ensinamentos que me transmitiu quer a nível da matéria abordada, quer a nível pessoal. A partir desta meta alcançada permanece como um grande exemplo, com a sua capacidade de cruzar o máximo do sentido de responsabilidade e benevolência. “Aos ombros de Gigantes” - Stephen Hawking.

Ao Ayrton Senna, pela sua frase célebre que me marcou e me fez olhar para a competição de uma forma diferente. “Não sei dirigir de outra maneira que não seja arriscada. Quando tiver de ultrapassar vou ultrapassar mesmo. Cada piloto tem o seu limite. O meu é um pouco acima do dos outros”.

À Doutora Ana Paula Gomes e João Matos, pelo apoio prestado na análise microscópica, as correções e os conselhos prestados.

À fantástica equipa - Professor André Silva, Christian Rodrigues, Diana Vieira, Eduardo Antunes, Fernando Neves e Pedro Manquinho pelas vezes que chateei, procurei inspiração, discussão e exemplo.

Ao João Oliveira e à sua empresa TopShield, pela cedência de material dos seus magníficos projetos.

Ao Adriano Niz, cedendo um pouco do seu tempo de descanso entre treinos, e pela oferta do fato da Arena.

Ao Luís Silva, e a todo o Staff do Sporting Club de Braga, cedendo-me um pouco do seu tempo para me receberem durante os seus treinos e descanso. Para além dos km's que fizeram só para me receberem e me entregarem o fato da Arena.

Ao Professor Rui Miguel e aos funcionários das Oficinas de Confeção do Departamento Têxtil pelo apoio prestado, simpatia e o tempo despendido. Cedendo-me gentilmente o tecido de lã cardada e a sua união.

À Engenheira Têxtil Ângela Silva, da Universidade do Minho, pela ajuda prestada e com cedência da Cortiça.

Ao meu primo Manuel Silva pela realização da magnífica pintura realizada sobre um material estranho para ele. Obrigado pelo apoio, incentivo e confiança que me transmitiu.

À Célula Absoluta apesar de não fazer a gestão deste projeto, cederam-me a fita de dupla face, conselhos e profissionalismo.

À empresa ITD e ao seu dono Ilídio Martins por manter o meu computador no desempenho máximo durante as simulações. Um muito obrigado.

Ao técnico de laboratório Sr. Rui Paulo por me disponibilizar recursos, materiais e um pouco do seu conhecimento durante a realização deste trabalho.

Ao Nicolas Perrin e à sua empresa Perrinn, por todo apoio, dedicação, disponibilidade, conhecimento, discussão e acima de tudo por fazer parte deste trabalho. Muito obrigado e em breve iremos ver o LMP1 a voar na pista.

Ao José Simões, ao qual tive a oportunidade de conviver durante estes meses, pelo seu conhecimento, força, paciência, companheirismo, ajuda, conselhos e disponibilidade: um muito obrigado.

Aos meus Amigos, pelas palavras de incentivo e confiança que me transmitiram. Vânia Silva e Vítor Gonçalves obrigado por todo apoio, boa disposição, incentivo e confiança.

À Dona Dulce, pelas palavras de incentivo e confiança que me transmitiu. Obrigado por todo o apoio, boa disposição, incentivo e confiança.

Ao Sr. Casimiro Soares e aos seus médiocres pela simplicidade e por fazer as simples coisas acontecerem.

À Marta Teixeira, por estar sempre presente, pelo seu apoio e incentivo constante e sobretudo por me fazer acreditar que tudo é possível.

À minha matéria cósmica, Avô e Padrinho, apesar de não ser possível quer a correção ou mesmo colocar o último ponto final, mas fiz como nos ensinaram.

Não me podia esquecer da minha mãe e irmã, sempre presentes nos momentos mais difíceis, pelo incessante incentivo e força. Obrigado...por tudo.

Resumo

Atualmente as 24 horas de Le Mans para além de serem o “Santo Graal” dos desportos motorizados, a sua duração está para lá das 24 horas, colocando carros, pilotos e outros sob desafios contantes. É testada a velocidade do próprio veículo e a capacidade do piloto, mas mais importante é a durabilidade e confiabilidade do veículo.

No entanto, a aerodinâmica surge como trunfo na melhoria dos veículos, afetando o desempenho destes, a segurança, ou até o consumo. Por outro lado, as velocidades são cada vez mais ampliadas à custa de apêndices na estrutura, como por exemplo as asas invertidas que proporcionam um acréscimo de *downforce*. Contudo, em qualquer desporto, principalmente desportos nos quais a resistência aerodinâmica esteja presente, a sua minimização é necessária. A resistência aerodinâmica é proporcional ao quadrado da velocidade. O ar em contato com o corpo origina forças de atrito, estando ligado aos efeitos viscosos, área de superfície, à rugosidade e a camada limite. Num protótipo de Le Mans da classe 1 (LMP1), também existe evidentemente, preocupação quanto à otimização do veículo face à resistência aerodinâmica.

O presente trabalho foca-se no estudo do efeito da rugosidade de diversos materiais, tais como as fibras de carbono, fibras de vidro, tinta de automóvel, membrana de tubarão, fato de poliuretano, cortiça, película de vinil e tinta de aeronáutica na aerodinâmica dos veículos. Com a aplicação destes materiais na zona inferior do veículo, pretende-se que o escoamento não sofra resistência à sua passagem por esta zona. Porém, com o aumento da velocidade, há igualmente o aumento da *downforce*.

Os resultados obtidos sugerem que houveram melhorias do Cl por parte dos fatos da Jaked e Speedo e por parte da película de vinil, destacando este último com uma melhoria de 68%. No entanto, o Cd do veículo é melhorado igualmente recorrendo à película de vinil com uma melhoria de 8%.

Palavras-chave

24 Horas de Le Mans, LMP1, aerodinâmica, fibras de carbono, fibras de vidro, tinta de automóvel, membrana de tubarão, fato de poliuretano, cortiça, película de vinil e tinta de aeronáutica.

Abstract

Currently the 24 hours of Le Mans as well as being the holy grail of motor sports, its duration is beyond 24 hours, putting cars, drivers and others under constant challenges. It tested the speed of the vehicle itself and the pilot's ability, but more important is the durability and reliability of the vehicle.

However, the aerodynamic improvement arises as an asset of the vehicles, thus affecting the performance of the safety or until consumption. On the other hand, the speeds are increasingly enlarged at the expense of the structure appendages such as wings inverted provide a downforce increased. However, any sports, particularly sports for which the drag is present, its minimization is required. The drag is proportional to the square of the speed. The air in contact with the body originates friction forces, being connected to the viscous effects, surface area, the roughness and the boundary layer. A prototype of Le Mans class 1 (LMP1), there is obviously concern about the optimization of the vehicle due to the aerodynamic drag.

The present study focuses on studying the effect of roughness of various materials, such as carbon fibers, glass fibers, automobile paint, shark membrane fact polyurethane, cork, vinyl film and ink aircraft aerodynamics vehicles. With the application of these materials in the lower region of the vehicle, it is intended that the flow resistance does not suffer its passage through this zone. However, with the increase in speed, there is also increased downforce.

The results suggest that there have been improvements C_l by the facts of Jaked and Speedo and by the vinyl film, highlighting the latter with an improvement of 68%. However, the vehicle C_d is also improved by using the vinyl film with a 8% improvement.

Keywords

24 Hours of Le Mans, LMP1, aerodynamics, carbon fibers, glass fibers, automobile paint, Shark membrane swimwear, swimwear polyurethane, cork, vinyl film and aeronautical ink.

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xxi
Lista de Nomenclatura	xxiii
Lista de Acrónimos	xxv
Alfabeto Grego	xxvii
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1. Enquadramento do trabalho	1
1.2. Objetivo	4
1.3. Metodologia utilizada	5
1.4. Estrutura da Dissertação	5
Capítulo 2 - Estado de arte	7
2.1. História de Le Mans	7
2.2. Evolução do desporto automóvel	16
2.3. Materiais	30
2.3.1. Fibras de carbono	30
2.3.2. Fibra de vidro	35
2.3.3. Tinta de automóvel	40
2.3.4. Membrana de tubarão	46
2.3.5. Fato de poliuretano	53
2.3.6. Cortiça	57
2.3.7. Película de vinil	63
2.3.8. Tinta de aeronáutica	67

Capítulo 3 - Desenvolvimento experimental	73
3.1. Sistema de eixos	73
3.2. Modelação tridimensional.	74
3.2.1. Nariz	74
3.2.2. Chassis	74
3.2.3. Carnagens	75
3.2.4. Roda dianteira e traseira.	75
3.2.5. Cockpit.	76
3.2.6. Cobertura do motor	76
3.2.7 Asa traseira	77
3.2.8. Modelo completo	78
3.3. Elaboração de um modelo físico à escala.	78
3.4. Túnel de vento	79
3.4.1. Velocidade efetiva do túnel de vento	80
3.4.2. Fatores de correção do Túnel de vento	83
3.5. Dimensionamento do tapete rolante	84
3.6. Dimensionamento da balança aerodinâmica	90
3.7. Microscopia	94
3.8. Análise numérica	96
3.8.1. Domínio do modelo	96
3.8.2. Criação da malha	97
3.8.3. Condições de fronteira	97
3.9. Efeitos invíscidos no Cd e Cl	98
3.10. Centros de aerodinâmicos e de pressão	101
Capítulo 4 - Análise e discussão dos resultados	103
4.1. Velocidade do túnel de Vento	103
4.2. Tapete rolante	103
4.2.1. Camada limite	103
4.2.2. Tapete rolante propriamente dito	104
4.3. Obtenção do Cd e Cl total	105
4.4. Microscopia	105
4.4.1. Fato da Arena	105
4.4.2. Fato da Jaked	106
4.4.3. Cortiça	107
4.4.4. Película de vinil	108

4.4.5. Fato da Speedo	109
4.4.6. Rugosidade dos vários materiais	110
4.5. Simulação numérica	111
4.5.1. Vista frontal	112
4.5.2. Vista inferior	113
4.5.3. Vista superior	114
4.5.4. Vista traseira	115
4.5.5. Resultado da força de resistência e da força de <i>downforce</i>	116
4.6. Efeitos invíscidos	116
Capítulo 5 - Reflexão Final e perspectivas futuras	123
5.1. Reflexão final	123
5.2. Perspetivas futuras	124
Bibliografia	125
Anexo	139
Anexo 1. Regulamento técnico para o Protótipo LMP1	139
Anexo 2. Desenhos 2D	140
Anexo 3. Cd em função do Re	141
Anexo 4. Espessura média dos materiais	142
Anexo 5. Perfil de velocidades ao longo da secção de ensaios	143
Anexo 6. Coordenadas das tomadas de pressão	144
Anexo 7. Alturas manométricas das várias tomadas de pressão	145
Anexo 8. Coeficiente de pressão (CP)	146
Anexo 9. Cálculo do Cx	147
Anexo 10. Cálculo do Cd	148

Lista de Figuras

Figura 1: Audi R18 e-tron quattro, vencedor da edição de 2014 (http://fourtitude.com)	11
Figura 2: Jota Sport 2014, vencedor da classe LMP2 (http://motorsport.dunlop.eu).	12
Figura 3: Ferrari 458 Itália da AF Corse, vencedor da classe LMGTE-Pro (http://sportscar365.com)	13
Figura 4: Austin Martin Racing, vencedor da classe LMGTE-AM (http://www.foxsports.com)	13
Figura 5: Equipa University of Bolton, Ginetta - Nissan, classe LMP3 (www.rodrigomattar.grandepremio.uol.com.br)	14
Figura 6: Vencedor da categoria LMGTC das 4h de Silverstone 2015 (www.rodrigomattar.grandepremio.uol.com.br).	15
Figura 7: Vitória da 52ª Rolex Daytona 24 Hours (www.pressracing.com).	16
Figura 8: Economia de combustível com a redução no coeficiente de resistência (C_d) (Channiwala et al. 2008).	17
Figura 9: Evolução da velocidade média desde 1965 (Zhang et al. 2006).	18
Figura 10: Chaparrall 2J de 1969 (http://historiasdelautomovilismo.es).	19
Figura 11: Acidente do Mercedes-Benz CLR em 1999 (www.totalrace.com.br).	20
Figura 12: Ilustração da asa dianteira, difusor e asa traseira de um LMP1.	20
Figura 13: Mapas de <i>downforce</i> de um carro de corridas (a) coeficiente de pressão no eixo frontal; (b) coeficiente de pressão no eixo traseiro (Zhang et al. 2006).	21
Figura 14: Colin Chapman no Lotus 49B F1 de 1960 (www.thetruthaboutcars.com).	22
Figura 15: O campeão de 1971 Jackie Stewart's ao volante do seu Tyrrell 003 (www.goodoldvalves.tumblr.com).	22
Figura 16: Conceito CDG-Wing (Barata et al. 2008).	23
Figura 17: Efeito de asas traseiras de um carro de corridas na <i>downforce</i> e na resistência (Katz 1995).	24
Figura 18: Porsche 917 vencedor das 24h de Le Mans de 1970 e 1971 (www.miataturbo.net)	25
Figura 19: Painel debaixo do veículo e o respetivo difusor, seccionados lateralmente e longitudinalmente (Stevenson 2012)	27
Figura 20: Cl e distribuição de pressão em função do ângulo de ataque do veículo (α) (Stevenson 2012).	28
Figura 21: Delta Wing, testes em Sebring 2012 (www.deltawingracing.com)	29
Figura 22: Nissan GT-R LM Nismo (www.jrmphotos.be/en/blog/technical/nissan-lmp1.html).	30
Figura 23: Bobine de fibras de carbono (www.directindustry.es).	31
Figura 24: Microscópio eletrónico de varrimento (SEM) das fibras de carbono revestidas com nanoplaquetas de grafeno (Qin et al. 2015).	32

Figura 25: Vista lateral, com piloto (Jakobsen et al. 2013).	34
Figura 26: Fibra de vidro (www.quimer.pt).	36
Figura 27: Microscópia eletrónica de varrimento (SEM), mostrando as fibras de vidro com a resina (López et al. 2012).	36
Figura 28: Transmitância de matriz fotoativados (Krug et al. 2013).	39
Figura 29: Resultados de vários revestimentos (Jurgetz 1995)	42
Figura 30: Pintura de automóvel típica (Domnick et al. 2011).	44
Figura 31: Microscópia eletrónica de varredura (SEM), mostrando a pele de tubarão (De-yuan et al. 2011).	48
Figura 32: Número de recordes mundiais, durante um período de homens e mulheres para o estilo livre, desde 1990 (Foster et al. 2012)	49
Figura 33: Esquema de função natural tecnologia de revestimento morfologia da superfície (Chen et al. 2014).	50
Figura 34: Digitalizador 3D de fatos de natação com melhor desempenho e respetivos atletas 1, 3, 4, 5, 6 (Van Geer et al. 2012).	54
Figura 35: Colheita de cortiça, separação da casca do sobreiro.	58
Figura 36: Aglomerados de cortiça (Oliveira et al. 2013).	62
Figura 37: Representação esquemática da adesão PVC/vidro (Vabrik et al. 1999).	64
Figura 38: Bebê às 30 semanas de gestação num isolamento de vinil (Çağlar et al. 2014).	66
Figura 39: Redução de 50 % de combustível e CO2 (Abbas et al. 2013).	68
Figura 40: Sistema de eixos (Stevenson 2012).	73
Figura 41: Nariz.	74
Figura 42: Chassis.	75
Figura 43: Carnagens.	75
Figura 44: Roda dianteira e traseira.	76
Figura 45: Cockpit.	76
Figura 46: Cobertura do motor.	77
Figura 47: Asa traseira.	77
Figura 48: Modelo tridimensional completo.	78
Figura 49: Fresadora de 3 eixos e o seu controlador.	78
Figura 50: Eixo da fresadora.	79
Figura 51: Laser da G-Weike ® da UBI.	79
Figura 52: Esquema do túnel de vento presente no laboratório.	80
Figura 53: Gráfico de Re numa escala logarítmica.	81
Figura 54: Abordagem para a medição da velocidade efetiva do túnel de vento.	81
Figura 55: Desenvolvimento típico da camada limite.	85
Figura 56: Típica transição da camada limite (www.aerospaceengineeringblog.com).	86
Figura 57: Representação gráfica de um tubo de Pitot-Estático (Brederode 2014).	86
Figura 58: Esquema de um Tubo de Pitot-Estático.	87
Figura 59: Posicionamento do tubo de Pitot na secção de ensaios.	88

Figura 60: Técnicas de simulação em túnel de vento (Hucho & Sovran 1993).	89
Figura 61: Modelação tridimensional do túnel de vento e da balança.	91
Figura 62: Perfil de pressões do modelo apresentado por Stevenson em 2012.	91
Figura 63: Referencial implementado nos ensaios aerodinâmicos.	91
Figura 64: Balança com dimensões de atravancamento.	92
Figura 65: Desenho da estrutura da balança, com os respetivos componentes.	92
Figura 66: Modelação tridimensional da balança para o Cd e o Cl.	93
Figura 67: Célula de carga FN 3148 (www.meas-spec.com).	94
Figura 68: Aparelho para o recobrimento de iões metálicos de Au, sobre amostras não condutoras.	95
Figura 69: Câmara do SEM, com as amostras instaladas e prestes a serem enclausuradas.	95
Figura 70: Domínio expressa em termos do comprimento L do corpo do protótipo.	97
Figura 71: Localização das tomadas de pressão estática do veículo, vista lateral.	100
Figura 72: Localização das tomadas de pressão estática do veículo, vista inferior.	100
Figura 73: Localização das tomadas de pressão estática do veículo, vista superior.	100
Figura 74: Localização dos centros de Gravidade e Aerodinâmico.	101
Figura 75: Perfil de velocidades ao longo da secção de ensaios.	104
Figura 76: a) Tapete rolante e b) controlador e respetivo visualizador.	104
Figura 77: Gráfico da espessura média dos diversos materiais e respetivo erro-padrão.	111
Figura 78: Perfil das pressões, vista frontal.	112
Figura 79: Perfil de velocidades, vista frontal.	112
Figura 80: Perfil das pressões, vista interior.	113
Figura 81: Perfil de velocidades, vista inferior.	113
Figura 82: Perfil das pressões, vista superior.	114
Figura 83: Perfil de velocidades, vista superior.	114
Figura 84: Perfil das pressões, vista traseira.	115
Figura 85: Perfil de velocidades, vista traseira.	115
Figura 86: Representação gráfica da força de resistência.	116
Figura 87: Representação gráfica da força de <i>downforce</i> .	116
Figura 88: Gráfico do CP da fibra de carbono.	117
Figura 89: Gráfico do CP da fibra de vidro.	117
Figura 90: Gráfico do CP do fato Jaked.	117
Figura 91: Gráfico do CP do fato Arena.	118
Figura 92: Gráfico do CP do fato Speedo.	118
Figura 93: Gráfico do CP da cortiça.	118
Figura 94: Gráfico do CP da película de vinil.	119
Figura 95: Gráfico do CP da tinta de automóvel.	119
Figura 96: Gráfico do CP da tinta de aeronáutica.	119
Figura 97: Gráfico do Cl dos efeitos invíscidos do veículo com o respetivo erro padrão.	120
Figura 98: Gráfico do Cd dos efeitos invíscidos do veículo com o respetivo erro padrão.	120

Lista de Tabelas

Tabela 1: Evolução do circuito das 24 horas de Le Mans (Arnage 2014).	8
Tabela 2: Objetivos aerodinâmicos (Abbas et al. 2013).	69
Tabela 3: Especificações do motor de passo da Moons'.	90
Tabela 4: Relação de L1/L2.	93
Tabela 5: Materiais aplicados.	96
Tabela 6: SEM, mostrando a fisionomia da superfície da Arena.	105
Tabela 7: SEM, mostrando a fisionomia da superfície da Jaked.	106
Tabela 8: SEM, mostrando a fisionomia da superfície da Cortiça.	107
Tabela 9: SEM, mostrando a fisionomia da superfície do Vinil.	108
Tabela 10: Diferença entre o material de referência.	121
Tabela 11: Re em função da largura do veículo.	141
Tabela 12: Valores médios, desvio padrão (S), coeficiente de variação (%) e erro-padrão da espessura dos diversos materiais.	142
Tabela 13: Valores do perfil de velocidades ao longo da secção de ensaios.	143
Tabela 14: Coordenadas das tomadas de pressão na superfície superior	144
Tabela 15: Coordenadas nas tomadas de pressão na superfície inferior	144
Tabela 16: Alturas manométricas na superfície superior	145
Tabela 17: Alturas manométricas na superfície inferior	145
Tabela 18: Coeficiente de pressão (CP) na superfície superior.	146
Tabela 19: Coeficiente de pressão (CP) na superfície inferior.	146
Tabela 20: Cx na superfície superior.	147
Tabela 21: Cx na superfície inferior.	147
Tabela 22: Cd resultante da esteira na traseira do veículo.	148

Lista de Nomenclatura

A	Área frontal do veículo
A_M	Área da secção transversal do modelo
A_T	Área da secção transversal do túnel
C_{gx}	Centro de gravidade
C_{lf}	Coefficiente de <i>downforce</i> na roda frontal
C_{lr}	Coefficiente de <i>downforce</i> na roda traseira
C_{min}	Concentração mínima de explosão
C_p	Coefficiente de pressão
C_{pa}	Coefficiente de pressão nos pontos anteriores do veículo
C_{pi}	Coefficiente de pressão inferior do veículo
C_{pp}	Coefficiente de pressão nos pontos posteriores do veículo
C_{pr}	Centro de pressão
C_{ps}	Coefficiente de pressão superior do veículo
C_{pu}	Coefficiente não corrigida da pressão
CX	Força aerodinâmica segundo OX
CY	Força aerodinâmica segundo OY
F_x	Força de resistência
F_y	Força de sustentação
h1	Altura do difusor à entrada
h2	Altura do difusor à saída
K_{st}	Índice de detonação
K_t	Fator de correção do bloqueio
L_u	Comprimento do painel inferior
N	Distância entre h1 e h2
$N_{Posição}$	Número da posição da célula de carga
P_2	Pressão estática
P	Pressão
P_i	Pressão inicial
$P_{máx}$	Pressão máxima de explosão
$P_{s,∞}$	Pressão estática de referência
$P_{t,∞}$	Pressão total de referência
q	Pressão dinâmica não corrigida
$q_∞$	Diferença entre $P_{t,∞}$ e $P_{s,∞}$
Q	Caudal
Q_c	Pressão dinâmica não corrigida
r	Raio do tambor

r_{cl}	Ratio entre C_{lf} e Cl
Re	Número de Reynolds
R_{FX}	Relação entre $L1$ e $L2$
T	Temperatura
U	Velocidade do fluido
v	Velocidade do tapete
V	Volume
X_{CA}	Localização do centro aerodinâmico
X_{CG}	Localização do centro gravítico
X/C	Relação entre as tomadas de pressão (X) e o comprimento máximo do veículo
X_s	Margem estática ($C_{gx}-C_{pr}$)
Y/C	Relação entre as tomadas de pressão (Y) e o comprimento máximo do veículo

Lista de Acrónimos

ACO	<i>Automobile Club de l'Ouest</i>
AD	Resistência aerodinâmica
AES	Espectroscopia eletrónica de Auger
AFM	Microscópio de força atómica
ALMS	American Le Mans Series
ASLMS	Asian Le Mans Series
Cd	Coeficiente de resistência
CDG-Wing	<i>Central Downwash Generating Wing</i>
CFD	Dinâmica de Fluidos Computacional
Cl	Coeficiente de sustentação
Cv	Cavalos
D	Resistência aerodinâmica
DCA	Departamento de Ciências Aeroespaciais
ELMS	<i>European Le Mans Series</i>
EP	Epóxi
F1	Fórmula 1
F	Peso estático do veículo
FIA	Federação Internacional de Automobilismo
FINA	Federação Internacional de Natação
K	Constante de mola do pneu
LED	Díodo emissor de luz
LMP	<i>Le Mans Prototype</i>
NASA	Nacional Aeronáutica e Espaço Administração
NMR	Espectroscopia multinuclear
PA	Poliamida
PP	Polipropileno
PSP	Tinta sensível à pressão
PVC	Cloreto de Polivinil
PU	Poliuretano
R	Constante dos gases ideais
RI	Índice de refração
S	Área frontal do modelo
SEM	Microscópio eletrónico de varrimento
SIMS	Espectroscopia de massa de iões secundários
TPS	Sistema de proteção térmica
UBI	Universidade da Beira Interior

USCC	<i>United Sportcar Championship</i>
UV	Ultra Violeta
WEC	<i>World Endurance Championship</i>
XPS	Fotoeletrões de raios-X
XRD	Difração de raios-X

Alfabeto Grego

α	Ângulo de ataque
ρ	Massa volúmica
δ_{99}	Espessura total da camada limite laminar
δ^*	Espessura do deslocamento
θ	Espessura de impulso
ω	Velocidade angular
ΔL	Deslocamento no eixo vertical

Capítulo 1 - Introdução

1.1. ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

A aerodinâmica de veículos tem sido uma área em grande expansão, estando diretamente relacionada com diversas características dos mesmos, tais como a velocidade final alcançada, consumo de combustível, refrigeração do motor e circulação de ar na cabine, geração de ruído devido à passagem do escoamento de ar, entre outros. Muitos dos avanços tecnológicos mais acentuados e hoje integrados na generalidade dos veículos, resultaram de uma investigação e teste de ideias completamente inéditas na competição automóvel.

Quando se fala em corridas de automóveis, temos que regressar ao passado, final do século XIX. Onde o homem e o veículo eram levados ao limite. Estas corridas eram praticadas em França no final dos anos 1880 e inícios de 1890 (O’Kane 2011). Contudo, com a constante evolução dos próprios veículos, os projetistas em 1960, obtêm na aerodinâmica um trunfo importante. É o parâmetro mais explorado desde sempre, afetando o desempenho, a segurança do veículo e do seu ocupante, na operação e no consumo de combustível (Tandel et al. 2014). As velocidades praticadas são cada vez mais ampliadas, à custa de apêndices na estrutura, tais como as asas invertidas, implementadas nesse ano. Proporcionando um acréscimo da *downforce* ou sustentação negativa, conferindo um melhor contato do pneu com o solo (Diba et al. 2014).

Um outro aspeto importante num carro de corridas é a minimização da resistência aerodinâmica, permitindo que este alcance tempos de volta o mais rápido possível (Lee & Al-Obaidi 2014).

A resistência aerodinâmica proporcional ao quadrado da velocidade (Hong-qi 2009), origina um consumo de combustível superior à metade da energia total do veículo. No campo da resistência aerodinâmica, existem duas fontes responsáveis por esse fenómeno, que são a fricção com a própria estrutura e a resistência de pressão. Ambas estão interligada, devido ao facto da geometria do veículo provocar uma camada limite, originando deficits de quantidade de movimento em torno do veículo. A resistência total é maioritariamente originado pela resistência de pressões, em mais de 80% (Sudin et al. 2014). Quando se fala em atrito com a própria estrutura, isto é consequência da força de atrito entre o corpo e o ar resultante da condição de não escorregamento. Por outro lado, a sua grandeza está interligada com a viscosidade, área de superfície, rugosidade desta, que afetam a camada limite, podendo ser laminar ou turbulenta. Estes efeitos são de difícil quantificação na presença de escoamentos turbulentos, devido ao facto de não haver métodos analíticos exatos para medir a resistência de fricção. Este facto leva o investigador a utilizar, muitas vezes, dados empíricos (Islam et al. 2012). Um outro aspeto é de afetar o movimento de deslocação frontal do veículo, devido à diferença de pressões entre o escoamento por cima do veículo e por baixo do veículo. No caso

das forças aerodinâmicas estas ao interagirem com o veículo reduzem significativamente a eficiência deste. No caso específico do Mundo da competição automóvel, existe a preocupação em otimizar o veículo, redesenhando-o (Chainani & Perera 2008). Estas diferenças de pressão entre as duas zonas, é responsável pela formação de vórtices, que implicam um aumento da resistência (Islam et al. 2012).

Como meio de minimizar o atrito existente na zona inferior do veículo, pensou-se aplicar diversos materiais. Um dos materiais mais utilizados num LMP1 é seguramente a fibra de carbono, que confere boas propriedades mecânicas (Johansen et al. 2014). A fibra de carbono é um tipo de material fibroso com um desempenho elevado em termos mecânicos e muito leve. Isto deve-se ao facto de possuir propriedades mecânicas superiores, contribuindo para a redução de peso do veículo. Hoje em dia a indústria automóvel, por exemplo, está focada em explorar todas estas propriedades, com a finalidade de cumprir todas as metas impostas relativas à redução de dióxido de carbono. Este tipo de fibras são utilizadas quer na indústria automóvel, aeroespacial, na medicina, entre outras (Ma et al. 2014). Atualmente, existem investigações que exploram outras vantagens deste tipo de material, como as nanofibras de carbono. Este material poderá num futuro próximo ser aplicado em dispositivos elétricos, materiais para elétrodos, baterias, supercapacitores e em sensores (LichaoFeng et al. 2014). Um protótipo na competição de Le Mans é maioritariamente constituído por este material, sendo exploradas todas as suas propriedades, respondendo à legislação em vigor para este tipo de desporto.

Um outro material é a fibra de vidro, que, tal como as fibras de carbono, é aplicado na estrutura. Em geral, é aplicada com reforço de resinas, sendo largamente utilizado em locais onde se pretende uma alta resistência à tração e um acabamento esteticamente razoável. Devido a falhas de conceção da estrutura foi abolida de partes críticas de um carro. As falhas eram devidas à quantidade de resina, ao próprio material da resina, comprimento da peça, forma, orientação das fibras e, acima de tudo, às propriedades de adesão de fibras, sendo este o principal fator de falha (Fonseca et al. 2014). As fibras de vidro são capazes de reduzir o peso do veículo, aumentando a eficiência a nível do consumo de combustível, sem que a segurança seja colocada em causa. A aplicação de materiais compósitos agregados a fibras de vidro na estrutura de um automóvel resulta numa maior força específica em comparação com o aço ou mesmo com o alumínio. Um dos estudos que testou estas fibras foi Lim & Lee no ano de 2002, substituindo a viga das portas em aço pelas de fibras de vidro. Verificaram que a referida viga tinha 70% do peso de uma em aço com uma resistência à flexão estática comparável (Lim & Lee 2002).

De uma forma abrangente, todos os modelos presentes no mercado apresentam uma proteção contra a corrosão extremamente eficaz. A proteção da superfície é feita por diversas camadas. Atualmente, a proteção contra a corrosão ou proteção da chapa é feito com o recurso ao zinco,

através do processo de galvanização. As duas camadas expostas ao ambiente têm como função, para além de proteção ao meio, a proteção das camadas subjacentes. Estas duas camadas são a tinta metálica, dando a aparência de metálica, e uma camada transparente ou verniz final. No entanto, a evolução constante das técnicas, trouxe a redução de processos, tempos entre processos, entre outros (Torkar & Godec 2003). Em geral, as tintas do mercado possuem agentes ligantes poliméricos, pigmentos inorgânicos e agentes que conferem a ligação à mistura (Zieba-Palus et al. 2008). Hoje em dia, a tinta para automóvel recebe uma outra função, de ser uma Tinta Sensível à Pressão (PSP). Esta função confere assim a capacidade de proporcionar uma medição de campo de pressões ao longo de toda a superfície (Jahanmiri 2011). O resultado de uma superfície áspera e com um baixo valor de brilho, deve-se ao facto de esta superfície não possuir dispersantes poliméricos. Com a adição dos dispersantes é possível reduzir a rugosidade da superfície e aumentar o brilho. Contudo, a forma mais eficaz de se melhorar a propriedade do brilho é a introdução ácido acrílico ou carboxilato (Farrokhpay et al. 2006).

No caso de tinta de avião a aplicação, a qualidade, etc, irão influenciar o desempenho da aeronave. Cada parte do avião requer tratamento de vários estágios, por exemplo, química, pintura e cura (McHugh 1996). Contudo, as propriedades de inibição da corrosão que a tinta confere às superfícies, contêm agentes cancerígenos, tais como o crómio hexavalente ($Cr6^+$) (LaPuma & Rhodes 2002). Tal como a tinta aplicada na indústria automóvel, a tinta da indústria aeronáutica utiliza tintas sensíveis à pressão (PSP), a sua aplicação traz benefício na economia de tempo, entre outras, em fins qualitativos e quantitativos. Desde finais de 1980 que as tintas que são aplicadas proporcionam um elevado grau de satisfação e precisão (Zhou et al. 2012).

Um dos materiais mais inovadores e impressionantes é o que é usado no fato desenvolvido em 2000 pela *Speedo* em parceria com a NASA: a membrana de tubarão, responsável pela queda de 17 recordes mundiais de natação. A membrana de tubarão tal como o seu nome indica foi inspirada na pele do tubarão. Vários investigadores tinham observado a baixa força de resistência do tubarão, concluindo que uma textura semelhante poderia ser usado em diversas aplicações de engenharia (Zhao et al. 2014). Outros exemplos de inspiração na natureza, como, por exemplo, barcos inspirados na baixa resistência dos golfinhos, a auto-limpeza de janelas inspirados na folha de lótus hidrofóbicas, e robôs de escalada de paredes inspirado pelas patas adesivas da lagartixa, entre outras (Bixler & Bhushan 2013).

A membrana de tubarão foi produzida com uma abordagem de microimpressão bio replicada, com a devida validação num túnel de água. A fabricação de grandes áreas laterais ainda é um obstáculo à sua aplicação. Este tipo de impressão baseia-se na replicação de micro-relevos, simulando as pequenas escamas que cobrem a pele do tubarão, tendo a forma de pequenas estrias em forma de V (Moria et al. 2010), perfeitamente alinhadas na direção do escoamento (Chen et al. 2014). Estas provocam a transição, evitando a separação para números de Reynolds elevados, com a conseqüente diminuição da resistência (De-yuan et al. 2011).

Os fatos de natação feitos com este material desempenham um papel importante na redução da resistência hidrodinâmica: com este tipo de fato, geralmente de corpo inteiro, o nadador despende cerca de 90% da energia para vencer a mesma resistência hidrodinâmica. Depois do sucesso dos Jogos Olímpicos de Pequim, no campo da natação, todos os fabricantes de fatos de natação introduziram fatos com a mesma finalidade. Surgem assim os fatos de corpo inteiro e só calção, em que se combina tecido de Lycra com o poliuretano (Moria et al. 2010). Depois de 2008, com a introdução dos painéis de poliuretano em calções o aumento de desempenho foi de 1,5 a 3,5% e com o fato de corpo inteiro de 5,5%. Em 2009, as empresas *Arena* e *Jaked* lançaram os seus fatos de natação rivais, com a particularidade de serem constituídos apenas por poliuretano (Foster et al. 2012).

A cortiça, é igualmente um material possível para aplicação neste projeto, devido às suas várias propriedades, tais como a flexibilidade, compressibilidade, leveza, resistência ao fogo, resistência à abrasão (Mounir et al. 2014), impermeabilidade (González-García et al. 2013), entre outras.

Quando olhamos para a cortiça, vemos não só um produto natural, mas sim um produto inovador sustentável. Isto leva-nos a um patamar onde ambos os termos estão interligados, assumindo um papel importante na criação de valor (Mestre & Vogtlander 2013). Já podemos ver a cortiça como matéria-prima da rolha, mas também como uma matéria-prima para uma panóplia de produtos e ideias (Rives et al. 2013). A cortiça, como material natural, apresenta benefícios para a indústria, pois sendo originária de fontes renováveis, facilita a reciclagem de componentes, no final da sua vida útil. Surge assim a cortiça aglomerada, proveniente dos resíduos sólidos, resultantes das várias etapas de processamento. Em geral o aglomerado é produzido a partir de uma mistura de cortiça natural e um agente ligante orgânico, colocando esta mistura num autoclave e atravessando-a com vapor de água a alta temperatura. Desta forma, as suas propriedades, como a densidade, são afetadas, mas, por outro lado, mantêm-se as vantagens da reciclagem e fonte de matéria-prima renovável. O aglomerado de cortiça é uma excelente alternativa à tradicional espuma polimérica presente em dispositivos de segurança de veículos (Sanchez-Saez et al. 2015).

Um outro material muito utilizado, quer em automóveis, decoração, etc., é o cloreto de polivinil (PVC), vulgarmente designado de vinil. Em geral, o vinil é ligado a um outro material com propriedades colantes, com uma espessura de ligação compreendida entre 76 e os 305µm. Este material é extremamente flexível, ou seja, tem a capacidade de se adaptar a várias curvas ou formatos (El-Hajjar & Petersen 2011).

1.2.OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo o estudo da redução da resistência aerodinâmica e da variação do *downforce* do veículo, com a utilização de diversos materiais como a fibra de carbono, a fibra de vidro, a tinta comum de automóvel, a membrana de tubarão (*Speedo*), o fato de

poliuretano (*Arena e Jaked*), a cortiça, a película de Vinil e a tinta atualmente utilizada na indústria aeronáutica, na parte inferior de um Protótipo de Le Mans (LMP). Pretende-se encontrar um material capaz de melhorar as diversas funções e características adequadas às provas de resistência, atendendo à legislação imposta neste tipo de provas.

1.3.METODOLOGIA UTILIZADA

Relativamente à metodologia seguida nesta dissertação, considerando os objetivos estabelecidos delineou-se um plano que compreende as seguintes fases:

Numa primeira fase procedeu-se ao levantamento e estudo bibliográfico, que se traduziu na avaliação do estado de arte. Esmiçaram-se as propriedades dos materiais, definiu-se e caracterizou-se a resistência aerodinâmica e o *downforce* aerodinâmico. Além disso, foram analisados estudos onde já se haviam aplicado os diversos materiais em estudo.

A segunda etapa evidencia a escolha e caracterização dos vários materiais, atendendo à legislação em vigor para este tipo de prova. Pretendeu-se obter através de vários testes, o máximo de informação sobre o material selecionado para se compreender em que medida há uma valorização deste substrato na própria estrutura.

Numa terceira fase, efetuou-se uma modelação tridimensional de um LMP1, tendo em consideração o regulamento em vigor. De seguida, com recurso ao programa de CFD Ansys Fluent é realizado uma análise da sua geometria na aerodinâmica. Realizando um modelo físico com uma escala de 1/10 com o propósito de análise de todos os materiais nos diversos parâmetros como a velocidade e a altura ao solo, no sentido de se averiguar se haveria alteração das propriedades aerodinâmicas do veículo.

Num quarto passo, seguiu-se a obtenção de todos os resultados obtidos em simulação. Através de um túnel de vento foi possível a verificação das alterações propriedades aerodinâmicas.

Numa última fase, todos os materiais foram postos em comparação e analisados os seus resultados.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos:

Capítulo 1 - Introdução

Neste capítulo explica-se o enquadramento e o objetivo desta dissertação bem como, a metodologia seguida durante a sua realização e a estrutura adotada para a apresentar.

Capítulo 2 - Estado da arte

Este capítulo surge como resultado das pesquisas bibliográficas, abordando conceitos básicos e descrevendo estudos já publicados relevantes para o desenvolvimento e compreensão desta dissertação.

Capítulo 3 - Desenvolvimento Experimental

Neste ponto faz-se uma introdução sobre o trabalho, descreve-se e justifica-se de forma técnica todos os materiais, produtos, métodos e equipamentos utilizados no desenvolvimento desta dissertação.

Capítulo 4 - Análise e Discussão dos Resultados

No quarto capítulo são apresentados os resultados, que são analisados e discutidos detalhadamente.

Capítulo 5 - Reflexão final e perspectivas futuras

No final, são apresentadas as principais conclusões do presente trabalho.

Capítulo 2 - Estado de arte

No presente capítulo é feito um enquadramento histórico do Mundo das 24 horas de Le Mans, desde a sua criação, passando pelos campeonatos, as classes, a pista e os carros. Todavia, a evolução do desporto automóvel está interligada a Le Mans, com os incrementos de velocidade, os aumentos de *downforce* e redução da resistência aerodinâmica, recorrendo a componentes e efeitos aplicados ao veículo. É feito um levantamento bibliográfico para cada material utilizado no veículo, como a fibra de carbono, a fibra de vidro, a tinta automóvel, a membrana de tubarão, o fato poliuretano, a cortiça, a película de vinil e a tinta aeronáutica.

2.1. HISTÓRIA DE LE MANS

No ano de 2013, a competição mais emblemática do Mundo das corridas motorizadas, constituindo o Santo Graal do automobilismo (O’Kane 2011), *24 horas de Le Mans* (França), completou 90 anos de existência. Sobreviveu à segunda guerra mundial, estando cancelada de 1940 a 1948. Anos antes, em 1936, foi também cancelada devido à greve na indústria automóvel. Desde o seu início já perderam a vida 105 pessoas: 83 espetadores no ano de 1955 e 22 pilotos. Esta prova é realizada no *Circuito de La Sarthe*, normalmente conhecido por *Circuito des 24 Heures*, situado em Le Mans, Maine, França, daí a sua designação (Fillon et al. 2013). É uma prova que tem como duração 24 horas, em redor de uma pista, colocando pilotos, máquinas, equipas, técnicos, engenheiros, entre outros, em posição de teste. Este teste é acima de tudo de resistência, daí o seu nome. Durante esse período, além de ser testada a velocidade do próprio veículo e a capacidade do piloto, examina-se a durabilidade e confiabilidade do veículo.

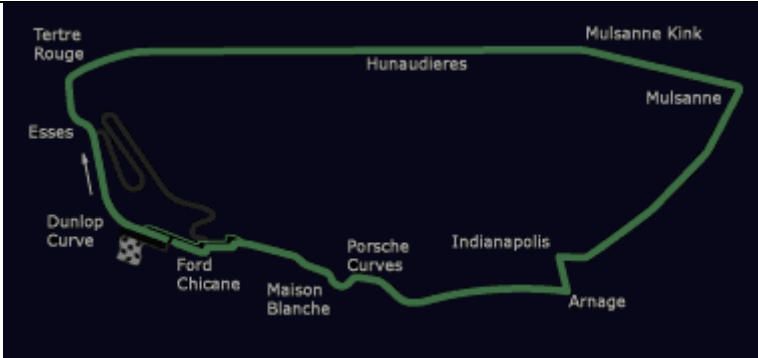

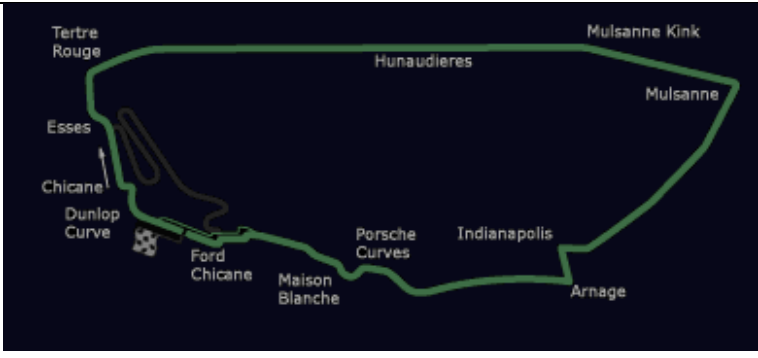

A emblemática prova de resistência das 24 Horas de Le Mans deve-se ao facto de três visionários das corridas criarem uma prova mais longa e popular da história. Foi a combinação de George Durand (secretário do *Automobile Club de l’Ouest*, a **ACO**) e Charles Faroux (editor de *La Vie Automobile*) que criam assim a ideia. Contudo, só em 1922 no Paris Motor Show, conhecem Emile Coquille, representante da Rudge-Whitworth Wheels que lhes doa 100 000 francos franceses. Durante os próximos três anos (1923/24/25), a corrida toma o nome de Rudge-Whitworth Trophy (Arnage 2014).



A prova ao longo da sua longa existência obteve diversas alterações, em termos regulamentares, introdução de outras classes, entre outras. As alterações são aplicadas com o propósito de se obter uma prova cada vez mais segura, que proporcione a competição entre diversas equipas e que sejam capazes de vencer, ou como se diz pelas 24 horas de Le Mans, simplesmente terminar.

Neste seguimento, a pista, sendo a “Meca” de França para os aficionados do desporto motorizado (Arnage 2014), sofreu diversas alterações desde 1923, ver próxima tabela, com referência à extensão, período da reformulação e os respetivos nomes das curvas.

Tabela 1: Evolução do circuito das 24 horas de Le Mans (Arnage 2014).

Ano	Pista	Extensão [km]
1921-1928		17,261
1929-1931		16,918
1932-1967		14,482
1968-1971		13,468

<p>1972-1978</p>	 <p>A track layout diagram for the period 1972-1978. The track is shown in green on a black background. Key features include: Tertre Rouge at the top left; Esses on the left side; Dunlop Curve at the bottom left; Ford Chicane at the bottom center; Maison Blanche at the bottom center-right; Porsche Curves at the bottom right; Indianapolis at the bottom right; Arnage at the bottom right; Mulsanne Kink at the top right; Mulsanne at the top right; Hunaudières at the top center.</p>	<p>13,640</p>
<p>1979-1986</p>	 <p>A track layout diagram for the period 1979-1986. The track is shown in green on a black background. Key features include: Tertre Rouge at the top left; Esses on the left side; Dunlop Curve at the bottom left; Ford Chicane at the bottom center; Maison Blanche at the bottom center-right; Porsche Curves at the bottom right; Indianapolis at the bottom right; Arnage at the bottom right; Mulsanne Kink at the top right; Mulsanne at the top right; Hunaudières at the top center.</p>	<p>13,626</p>
<p>1987-1989</p>	 <p>A track layout diagram for the period 1987-1989. The track is shown in green on a black background. Key features include: Tertre Rouge at the top left; Esses on the left side; Chicane at the bottom left; Dunlop Curve at the bottom left; Ford Chicane at the bottom center; Maison Blanche at the bottom center-right; Porsche Curves at the bottom right; Indianapolis at the bottom right; Arnage at the bottom right; Mulsanne Kink at the top right; Mulsanne at the top right; Hunaudières at the top center.</p>	<p>13,534</p>
<p>1990-2001</p>	 <p>A track layout diagram for the period 1990-2001. The track is shown in green on a black background. Key features include: Tertre Rouge at the top left; Esses on the left side; Chicane at the bottom left; Dunlop Curve at the bottom left; Ford Chicane at the bottom center; Maison Blanche at the bottom center-right; Porsche Curves at the bottom right; Indianapolis at the bottom right; Arnage at the bottom right; Mulsanne Kink at the top right; Mulsanne at the top right; Hunaudières at the top center; L'Arche Chicane at the top center; Mulsanne Straight at the top center; La Florandière Chicane at the top right.</p>	<p>13,600</p>

2002-2005		13,880
Desde 2006		13,880

O circuito incorpora uma pista permanente, estradas pública, vias pedonais, etc. Estas características fazem com que o piso adquira superfícies irregulares, originando aderência reduzida, uma nova filosofia para a abordagem, entre outros aspetos. O circuito foi o detentor das retas mais longas do mundo, a mais famosa reta era a Mulsanne, com um comprimento de 6 km. Esta colossal reta era extremamente perigosa, devido à máxima velocidade praticada pelos veículos, com a equipa Peugeot a ultrapassar os 400 km/h. Para travar esse incremento de velocidade máxima e acidentes diversos que pudessem ocorrer, a pista foi alterada, através da redução da reta, incorporando chicanes e curvas (O’Kane 2011).

É de salientar a evolução sofrida em 1932, que para desgosto dos aficionados, introduziu profundas remodelações, quer em extensão (a mais dura da história) quer em termos do desenho da pista. Pois esta reformulação fez com que quer pilotos e espetadores usufruissem dela. O desenho da pista foi alterado, graças à aquisição de um terreno por parte da ACO, afastando-a de Pontlieue, por outro lado aproximando-a da cidade (Arnage 2014).

A prova é composta normalmente por cerca de 50 carros, contudo ao longo da sua existência esse número foi-se tornando significativamente maior. Nos primeiros anos, houve apenas dois carros em prova. Os carros eram conduzidos só por dois pilotos, mas houveram pilotos que tentaram a façanha de a fazerem sozinhos. Depois de um grave acidente em 1955 o regulamento proibiu qualquer aventura solitária, obrigando à existência de três pilotos por carro, onde cada um não pode conduzir mais de 4 horas seguidas e exceder as 14 horas no total. As 24 horas de Le Mans apenas dão ênfase ao veículo e aos seus pilotos. Todavia, os fabricantes deste tipo de veículos possuem pouca liberdade de desenvolvimento, comparativamente com a F1 ou com as corridas Indy, devendo respeitar regulamentos mais apertados, tais como o chassis, o desenho,

motores, cockpit, entre outros. Embora o desenho do veículo tenha alguma flexibilidade, desde que as cotas de atravancamento sejam obedecidas. Hoje em dia as corridas de Le Mans, servem como oportunidade para os diversos fabricantes apresentarem as suas máquinas, colocando-as à prova, velocidade e fiabilidade. Com o intento de proveito de um aumento de vendas de veículos pessoais, ao longo dos anos a competição tem arrecadado lutas entre marcas famosas (O’Kane 2011).

Presentemente, as 24 horas de Le Mans têm quatro classes, todas com o mesmo propósito, vencer a prova e vencer a sua classe. Porém, isso nem sempre é possível, devido às limitações do veículo, por exemplo a velocidade máxima, motor, aerodinâmica, veículo, peso, entre outras. Surgiu assim, em 2008, a separação de uma classe principal e duas novas classes LMP1 e LMP2 surgiram, com a cor de referência vermelho e azul, respetivamente. Atualmente a classe rainha, a LMP1, tem duas subclasses a LMP1-H e a LMP1-L. Nas duas outras classes, dando destaque a veículos pessoais comuns, a LMGTE-PRO em 1995 e a LMGTE-AM em 2011, ambas com as cores verde e laranja. As referidas cores, foram introduzidas pelo ACO em 2007, onde cada veículo é obrigado a ter três luzes diodo emissor de luz (LED) montados em ambos os lados, designadas de “leader lights”. O conjunto de LED tem cores diferentes, de acordo com a categoria. A leader lights, ajudam os espetadores a interpretar qual os três primeiros veículos de cada categoria, especialmente durante o período da noite ou em condições de má visibilidade. A outra representação das cores é na placa de numeração, destacando a sua classe (Arnage 2014). De seguida são apresentadas as várias categorias, com as limitações impostas a cada uma.

LMP1-H e LMP1-L (vermelho)



Figura 1: Audi R18 e-tron quattro, vencedor da edição de 2014 (<http://fourtitude.com>)

Caraterísticas:

- Carro de cockpit fechado e com espaço para dois lugares;
- Com 4,65 m de comprimento, de 1,8 a 1,9 m de largura e 1,05 de altura;
- Para LMP1-H o motor é livre, para o LMP1-L limite máximo de 5,5 litros;

Estado de arte

- 68,3 litros de tanque de combustível para motores a Gasolina e 54,2 litros para Diesel;
- Faróis com feixe branco;
- Largura de roda 16” e 28,5” de diâmetro;
- Com 870 kg para a versão híbrida e 850 kg sem híbrida.

LMP2 (Azul)



Figura 2: Jota Sport 2014, vencedor da classe LMP2 (<http://motorsport.dunlop.eu>).

Caraterísticas:

- Carro de cockpit aberto ou fechado e com espaço para dois lugares;
- Motor de 5,0 litros atmosférico (máx. 8 cilindros) ou 3,2 litros Turbo (máx. 6 cilindros), motores de produção;
- Peso mínimo de 900 kg;
- Com 4,65 m de comprimento, de 2,00 m de largura e 1,03 de altura ou 1,05 m (para carros inspecionados em 2014);
- 75 litros de tanque de combustível;
- Faróis com feixe branco;
- Largura de roda 14” e 28” de diâmetro.

LMGTE-Pro (Verde)



Figura 3: Ferrari 458 Itália da AF Corse, vencedor da classe LMGTE-Pro (<http://sportscar365.com>)

Caraterísticas:

- Destinado a carros desportivos profissionais-GTE;
- Motor de 5,5 litros atmosférico ou 4 litros turbo;
- Peso mínimo de 1245 kg;
- Com 4,8 m de comprimento e 2 m de largura;
- Quantidade aproximada de 90 Litros de tanque de combustível;
- Faróis com feixe amarelo;
- Discos de travão em carbono;
- Jante de 14" de largura e 28" de diâmetro.

LMGTE-AM (Laranja)



Figura 4: Austin Martin Racing, vencedor da classe LMGTE-AM (<http://www.foxsports.com>)

Caraterísticas:

- Destinado a carros desportivos amadores-GTE;
- Especificações idênticas ao GTE-PRO;
- O carro deverá ter pelo menos um ano de idade.

Para os aficionados do desporto automóvel, e em especial as corridas de resistência, o A. C. O. criou a *Le Mans Series*, corridas inspiradas nas 24 horas de Le Mans atuais. Em 2010, surgiu uma prova de resistência mundial, designado *World Endurance Championship (WEC)*, com as regras, carros e classes idênticas às 24 horas de Le Mans. Anos antes, 2001, no Continente Europeu, num conjunto de cinco corridas, surgiu o *European Le Mans Series (ELMS)*. Esta classe é constituída apenas por quatro classes (LMP2, LMP3, LMGTE e LMGTC). Porém, a classe LMP3 é gerada na presente época de 2015. Quer a LMP2 e a LMGTE possuem regulamento idêntico às 24 horas de Le Mans e WEC.

LMP3 (Violeta)



Figura 5: Equipa University of Bolton, Ginetta - Nissan, classe LMP3
(www.rodrigomattar.grandepremio.uol.com.br)

Caraterísticas:

- Motor de 5 litros atmosférico (V8 da Nissan);
- Cockpit fechado e em carbono;
- Aberturas na parte superior dos arcos das rodas;
- Com 4,65 m de comprimento e 1,95 m de largura;
- Peso entre 870 e 900 kg (a confirmar);
- Tanque de combustível de 80 litros;
- Direção hidráulica obrigatória;
- O restante regulamento muito idêntico ao LMP1 e LMP2;
- Qualquer construtor pode construir o seu chassis, as seguintes empresas já estão a trabalhar na criação de LMP3 ou mostraram interesse: Ginetta, LAS Motorsport, Riley Technologies (L'Ouest 2015).

LMGTC (Cinza)



Figura 6: Vencedor da categoria LMGTC das 4h de Silverstone 2015
(www.rodrigomattar.grandepremio.uol.com.br).

Caraterísticas:

- Destinado a carros desportivos amadores de GT3;
- De 2 ou 3 pilotos amadores, com um dos pilotos de categoria ouro ou prata;
- Sem limitação de motor;
- Carro de produção em serie;
- Limite de peso mínimo e capacidade do tanque, ajustado pela FIA, a fim de manter o equilíbrio entre os vários carros (FIA 2015).

A importância é tanta, que os vários continentes querem possuir o seu campeonato de resistência e o A. C. O. apresentou dois novos campeonatos: o *Asian Le Mans Series* (ASLMS) e o *American Le Mans Series* (ALMS), 2004 e 1999, respetivamente. Ambas as categorias são regidas pelo club, sendo adaptadas aos continentes da prova. No entanto, a ALMS em 2014 fundiu-se à Grand-Am, dando origem ao *United Sportscar Championship* (USCC). De destacar o Português João Barbosa aos comandos de um Corvette, com Sébastien Bourdais e Christian Fittipaldi, campeões da temporada de 2014.



Figura 7: Vitória da 52ª Rolex Daytona 24 Hours (www.pressracing.com).

2.2. EVOLUÇÃO DO DESPORTO AUTOMÓVEL

A indústria das corridas de automóveis tem “sede” de soluções capazes de melhorar o desempenho. O desempenho dos veículos é influenciado pelo condutor ou piloto, o seu peso, a energia, pneus e a aerodinâmica. Esta última tem sofrido grandes desenvolvimentos por parte dos construtores no sentido, de se melhorar a eficácia dos veículos. É a área ao qual cada construtor deve investir, explorar e melhorar (Zhang et al. 2006).

Apesar de a aerodinâmica ser indispensável ao veículo, é um dos aspetos mais críticos no seu projeto (Channiwala et al. 2008). Os principais instrumentos no estudo da aerodinâmica na indústria do automobilismo, geralmente são testes realizados em túnel de vento e Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) (Peddie & Gonzalez 2009). Estes estudos têm como tarefa, a agregação do lado inovador e racional da engenharia com a estética. Assim, resulta num projeto bem desenhado em termos aerodinâmicos, por exemplo em relação ao consumo de energia menor para vencer a força de resistência exercida pelo ar, possibilitando acréscimos na velocidade, durante mais tempo com menor consumo (figura 8).

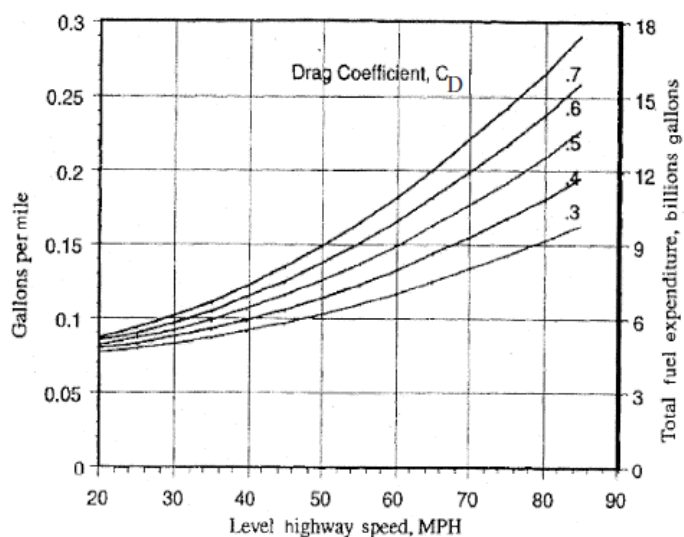


Figura 8: Economia de combustível com a redução no coeficiente de resistência (C_d) (Channiwala et al. 2008).

Quanto maior for o grau de desenvolvimento da aerodinâmica, melhor, ou seja, obtém-se melhor estabilidade e manipulação em velocidades mais elevadas. Também a minimização do coeficiente resistência aerodinâmico (C_d), é influenciado pela geometria do veículo. Os valores de C_d têm sofrido reduções ao longo dos anos, desde um C_d de 0.7 para veículos idênticos a paralelepípedos, até C_d de 0.3 para modelos mais refinados. Durante a penetração do veículo no fluido, este exerce duas forças na superfície do veículo: a força tangencial e a força normal. Quanto às forças tangenciais estas são induzidas pela tensão de corte, devido à viscosidade e gradientes de velocidade na superfície de circunscrição. Por outro lado, a força normal é a resultante de intensidades na variação da pressão ao longo da superfície, devido a efeitos dinâmicos. O vetor resultante é obtido do total desses dois vetores, integrados sobre a superfície. A componente destas forças na direção da velocidade relativa, passando pelo corpo, é apelidado de resistência aerodinâmica (D). Para velocidades mais elevadas a influência da D sobre o combustível do veículo é significativa, sendo um facto a minimizar. Portanto, para que um veículo tenha maior desempenho, gastando menos combustível para superar a resistência, é necessário rever a sua aerodinâmica. Os carros modernos possuem valores de C_d compreendidos entre 0.3 e 0.5 (Channiwala et al. 2008).

O avanço aerodinâmico em geral é acompanhado pelo aumento da velocidade, através da figura seguinte é possível ver as evoluções na aerodinâmica ao longo dos anos, com incremento da velocidade num circuito.

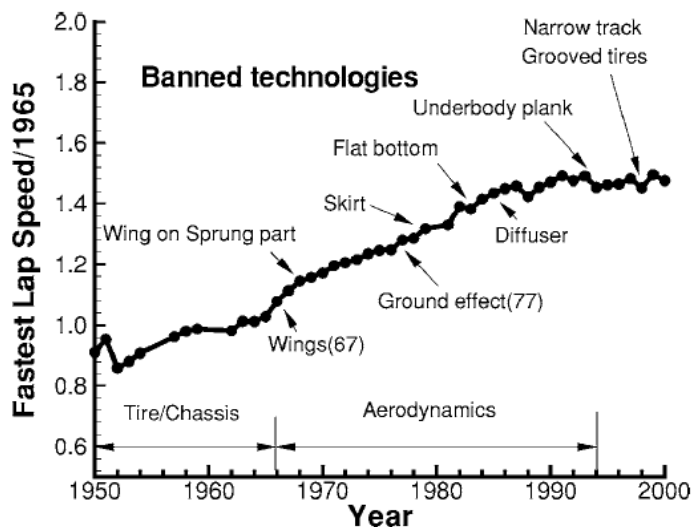


Figura 9: Evolução da velocidade média desde 1965 (Zhang et al. 2006).

O objetivo principal da aerodinâmica num carro é a produção de *downforce*, ou seja, sustentação negativa, para valores desejados (Zhang et al. 2006). A sustentação num corpo próximo do solo é determinado por dois efeitos contrários, a produção de uma força descendente na parte inferior do corpo e a produção de uma força ascendente na parte superior do corpo. Um corpo perto do chão forma um canal estreito, tal como o injetor de Venturi, o efeito solo, existe duas zonas em que o escoamento é acelerado e de seguida desacelerado. Este efeito, concebe uma subpressão média na parte inferior do corpo, originando uma força descendente. Por outro lado, paralelamente, a resistência do escoamento no canal encaminha-o para a parte superior do corpo. Na direção do escoamento, existe curvatura positiva devido à forma do corpo, gerando uma força ascendente na sua zona superior (Hucho & Sovran 1993). Chaparral apresentou em 1969 um carro revolucionário, o Chaparral 2J (figura 10). Este carro usava dois ventiladores na traseira, com o propósito de criar uma sucção debaixo do carro produzindo uma *downforce* independente da velocidade. Outros seguidores utilizaram o mesmo design, como na F1, por exemplo.

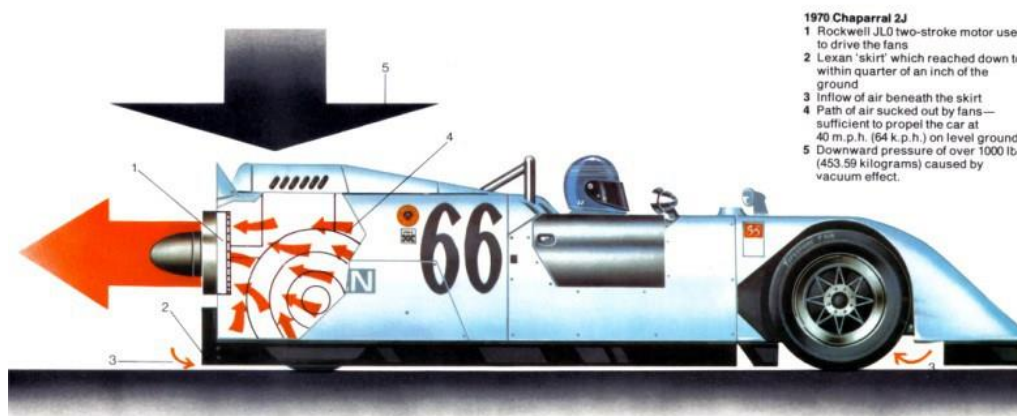


Figura 10: Chaparral 2J de 1969 (<http://historiasdelautomovilismo.es>).

Em 1995, a legislação imposta para a F1 impôs uma nova distância mínima ao solo, na sequência de acidentes graves, como o caso de Ayrton Senna na Williams FW16. Esta obrigação veio trazer uma redução de 13 % de *downforce* desta zona (Stevenson 2012). O desenvolvimento deste tipo de veículo procurou então uma recuperação dos desempenhos perdidos ou mesmo limitados pelos regulamentos. Praticamente em todos os acidentes documentados, os efeitos da aerodinâmica desses veículos foram agravados pela curvatura da pista e efeitos de inércia. A interação entre as forças aerodinâmicas e a dinâmica do veículo podem levar à instabilidade do veículo, como se ilustra na figura seguinte.

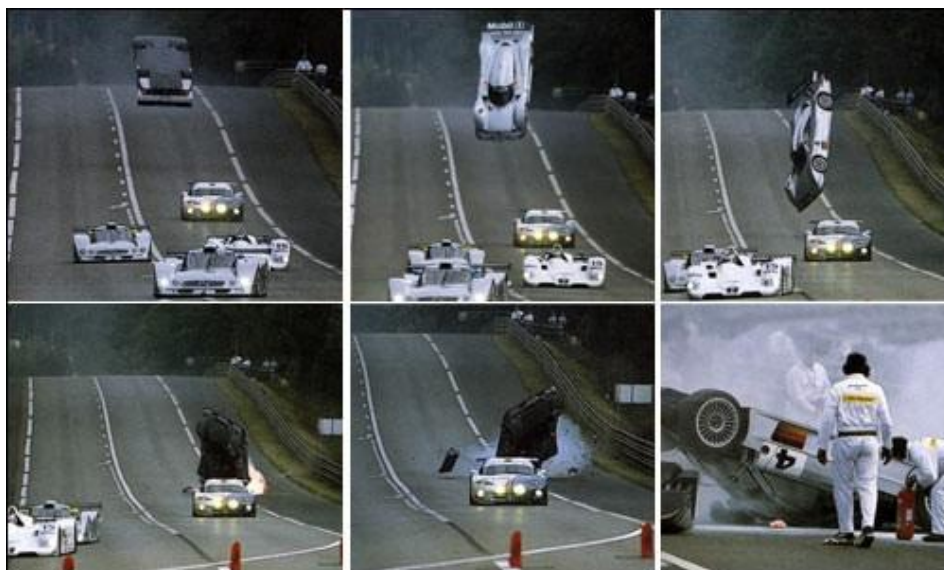


Figura 11: Acidente do Mercedes-Benz CLR em 1999 (www.totalrace.com.br).

Há carros desportivos que são capazes de produzir uma *downforce* duas vezes o seu peso, como, por exemplo, um F1. Na realidade, a *downforce* é o fator chave para o desempenho de qualquer carro de corrida, onde se pretende manter os pneus em contato permanente com o solo, mas com uma resistência mínima. Paralelamente, a função da suspensão é minimizar o efeito do *downforce* sob o desgaste dos pneus, permitindo que estes adquiram aderência ótima durante todo o funcionamento (Savage 2009).

Recorrendo à suspensão ativa, que a maioria dos órgãos reguladores desportivos consideram ilegal, é possível adaptar o veículo às mudanças de *downforce*. É usada pela maioria dos automóveis pessoais de gama alta. Este sistema faz a gestão entre amortecedores e molas consoante a variação da força, fazendo variar a altura ao solo e a reação de suspensão. Geralmente, os veículos modernos com uma *downforce* máxima têm alturas ao solo de 10 a 40 mm, para um ângulo de ataque (α) de $-1^\circ \leq \alpha \leq 0^\circ$ (Adami et al. 2001).

Os componentes responsáveis pela sua produção da *downforce* são a asa dianteira, o difusor e a asa traseira (figura 12), contribuindo cada um com 1/3 da *downforce* total (Zhang et al. 2006).



Figura 12: Ilustração da asa dianteira, difusor e asa traseira de um LMP1.

O conjunto, asa dianteira e difusor, trabalha em efeito solo, como foi abordado anteriormente. De salientar o facto de as rodas também contribuírem para o efeito solo, em virtude do seu contato com o solo, mas o seu efeito é puramente mecânico, através do atrito de rolamento, contribuindo com 40 % da resistência do veículo. No que toca à asa traseira esta afeta o desempenho do difusor, através de um campo de velocidades induzido.

Um bom exemplo para dos coeficientes de pressão que atuam no eixo dianteiro (a) e traseiro (b), é apresentado na próxima figura.

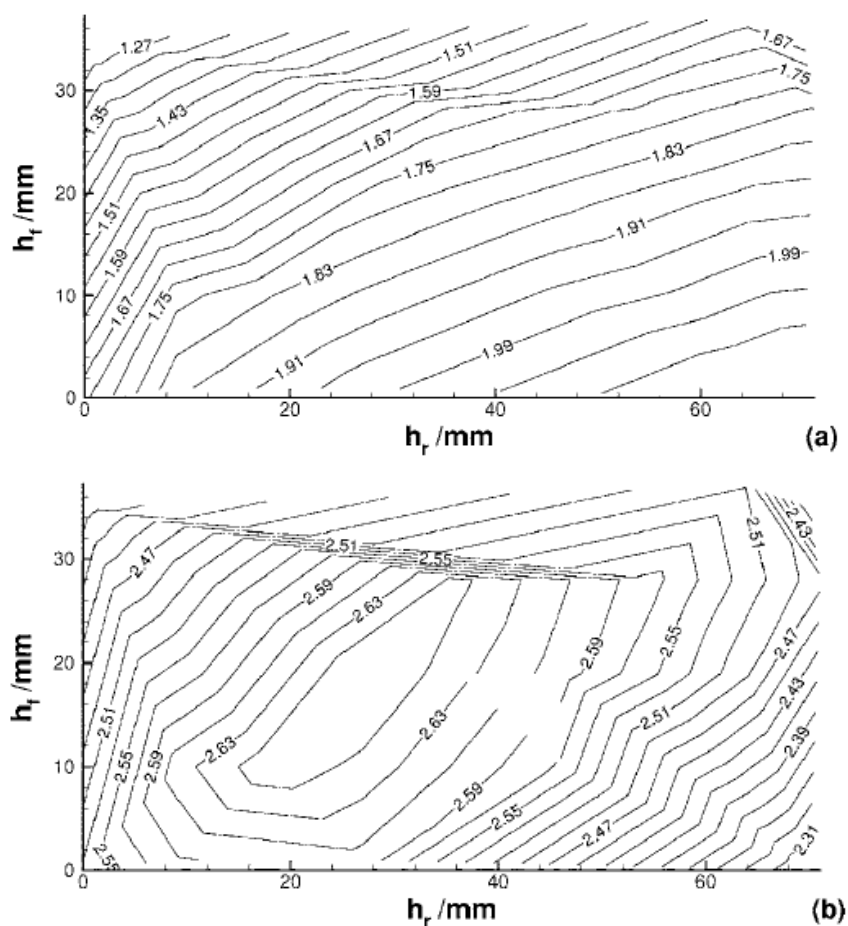


Figura 13: Mapas de *downforce* de um carro de corridas (a) coeficiente de pressão no eixo frontal; (b) coeficiente de pressão no eixo traseiro (Zhang et al. 2006).

Este coeficiente de pressão aerodinâmico é definido com referência à superfície frontal, ou seja, à área projetada do veículo num plano normal à direção longitudinal. A asa dianteira tem uma fisionomia relativamente livre, dominando o seu comportamento. Em travagem este efeito é acentuado, devido à elevação da traseira do veículo, provocando um aumento da força sobre o eixo frontal. Já em aceleração o processo é inverso. A asa dianteira gera cerca de 25 a 30 % do total da *downforce*, devido maioritariamente a esta operar em efeito de solo. Devido ao trabalhar combinado entre a asa traseira e o difusor, a asa traseira não contribui para o efeito de solo, devido à sua localização. O difusor está sujeito à quantidade de ar que se escoia entre a estrada e o chão do veículo (Zhang et al. 2006).

Na década de 60, as asas começaram a ter um papel preponderante para a aerodinâmica (Zhang et al. 2006), com o desporto automóvel a utilizar princípios de engenharia aeronáutica para o desenho destes componentes (Marqués-Bruna 2011). Inicialmente, estes dispositivos eram aplicados em estruturas fora da continuidade da superfície do veículo (figura 14).



Figura 14: Colin Chapman no Lotus 49B F1 de 1960 (www.thetruthaboutcars.com).

O desenho arrojado do Lotus 49B de Fórmula 1, tripulado por Colin Chapman em 1960 serviu de impulso aos padrões atuais do mundo do desporto motorizado. O componente inicial não trabalhava em conjunto com o efeito de solo. Só em 1966 é que estas estruturas são adotadas pelo carro de Can-Am. Contudo, mais uma vez a segurança é posta à prova e em 1970 é erradicada. No mesmo ano são aplicadas asas quer na zona frontal sobre as rodas, quer sobre as rodas traseiras, contribuindo para o efeito de solo. Desde então, é usada esta disposição (Zhang et al. 2006). Na figura seguinte é apresentado o esquema dessa asa, com uma asa traseira no Tyrrell 003 F1 de 1971, tripulado pelo campeão Jackie Stewart.



Figura 15: O campeão de 1971 Jackie Stewart's ao volante do seu Tyrrell 003 (www.goodoldvalves.tumblr.com).

Contudo, este desenho é revisto para a temporada 2008/2009. A alteração em causa, visou a diminuição das dificuldades na ultrapassagem devido à esteira gerada pelo carro que seguia à frente (Marqués-Bruna 2011).

De acordo com o regulamento, Barata et al. em 2008, apresentaram uma ideia inovadora, baseada num conceito de asa traseira dupla “CDG-Wing” (*Central Downwash Generating Wing*) (figura 16). A CDG-Wing tem como objetivo reduzir a turbulência gerada pelo veículo, por exemplo em curva, onde o veículo tem um comportamento de sob viragem devido à diminuição da pressão aerodinâmica. O regulamento impõe também um teto máximo de 1250 N para a *downforce*, limitando a velocidade em curva.

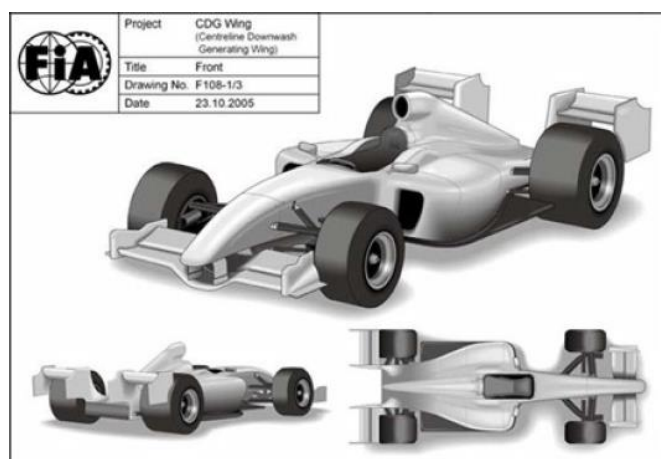


Figura 16: Conceito CDG-Wing (Barata et al. 2008).

Com o recurso a simulação numérica, verificou-se qual a solução que proporciona a melhor prestação. A asa é posicionada sobre a roda traseira e são apresentadas três geometrias de asa testadas a velocidades diferentes e curvas diferentes. O escoamento em torno da asa é influenciado pela rotação da roda. Os resultados foram obtidos no programa Ansys Fluent. A asa MK3 com um ângulo de ataque (α) de $30,219^\circ$ deu os melhores resultados, com uma *downforce* de 1238,365 N e uma resistência de 402,813 N a uma velocidade de 217 km/h (Barata et al. 2008).

O uso da asa traseira no desporto automóvel carece de análise quando opera a um baixo número de Reynolds (Re). O Re caracteriza o regime do escoamento sobre o objeto (Marqués-Bruna 2011). O Re característico mais baixo é de $0,17 \times 10^6$ (Katz 2006; Katz 1995). Para um número de Reynolds de $0,5 \times 10^6$ o desempenho da asa decaí, devido à formação de uma bolha de separação, logo após o ponto de pressão mínima. Surgindo um gradiente de pressão adverso a bolha rebenta. Estas bolhas em regime laminar provocam desvios significativos nos coeficientes de sustentação e de resistência.

O perfil NASA NFL (1) - 0414F oferece versatilidade para o automobilismo, com um baixo coeficiente de resistência (C_d), alto coeficiente de sustentação (C_l), alto rácio entre sustentação e resistência, entre outras. Este perfil é da família do perfil NACA 65-412 (Viken

et al. 1987; Murri et al. 1987). Como forma de testar o seu desempenho, recorreu-se à modelação numérica, através do programa AeroFoil 2.2. Este programa é muito utilizado, apresentando uma concordância entre valores obtidos e os valores experimentais. Assim, a asa do carro de corrida pode ser projetado usando o perfil NLF (1) - 0414F para atingir alto *downforce* e consecutivamente, melhorar o desempenho e segurança do carro (Marqués-Bruna 2011).

No WEC de Le Mans, os regulamentos impostos permitem um máximo de duas asas, uma principal e uma outra com flap, conhecido por *Gurney flap*. A *downforce* e a resistência são afetadas pelo ângulo de ataque (α) da asa. Através da próxima figura é possível verificar uma comparação entre uma asa com flap a 90°, uma asa convencional e uma outra com flaps laterais.

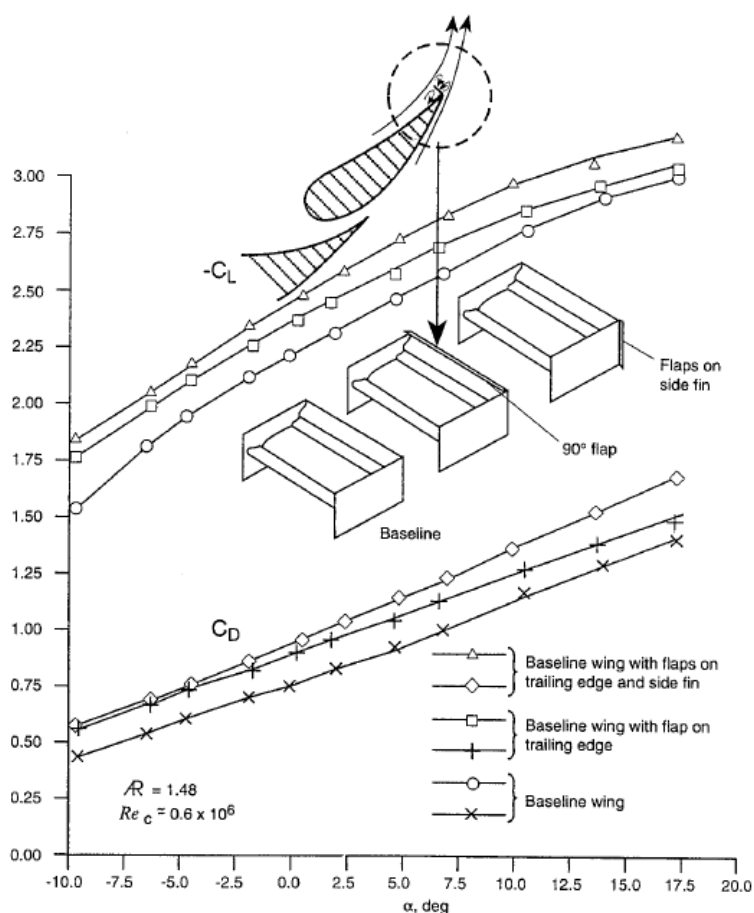


Figura 17: Efeito de asas traseiras de um carro de corridas na *downforce* e na resistência (Katz 1995).

Como é possível verificar pela análise do gráfico de cada asa para o coeficiente de sustentação negativo ($-C_L$) ou *downforce* e para o C_D , a asa com flap lateral produz maior *downforce*, mas sacrifica o C_D . O mesmo comportamento é registado na asa convencional, onde se verifica menor C_D e maior *downforce*. Por este motivo, aplica-se asa com *Gurney flap* (90°), devido essencialmente ao benefício da eficiência aerodinâmica. Um aspeto importante na configuração das asas é que estas devem ser adaptadas, tanto à configuração do carro como da

pista. Ou seja, o ângulo de ataque da asa deve ser ajustado para conferir *downforce* de acordo com o necessário (Katz 1995).

Devido a um carro de corridas estar a operar a velocidades altas é de extrema importância o estudo aerodinâmico para essas condições. A pesquisa centra-se em proporcionar *downforce* suficiente, resistência mínima e boa estabilidade direcional. No que se refere à asa traseira, esta tem o papel de aumentar a *downforce*, sendo este aumento proporcional ao aumento da velocidade do veículo. No entanto, a preocupação atual prende-se ao equilíbrio entre a *downforce* e a resistência. Os métodos numéricos são uma ferramenta útil para o estudo do efeito da asa e o ângulo de ataque desta, a sua posição, influência na esteira do fluido, entre outras. Por outro lado, as características aerodinâmicas destas asas são afetados por vários parâmetros, tais como espessura, curvatura, α , número de perfis sobrepostos, etc. Um aspeto importante do parâmetro α é consoante o seu aumento, a resistência aumenta e a *downforce* diminui. Todavia, para um ângulo muito elevado, a *downforce* diminui e a resistência aumenta. A experiência revela que o sistema ótimo tem 6 % a mais de *downforce* e 5 % menos de resistência (Zhigang et al. 2011).

A figura seguinte mostra a fisionomia de uma *Gurney flap*, no Porsche 917 das 24 horas de Le Mans. Este magnífico carro participou de 1969 a 1971, sendo campeão em 1970 e 1971. Neste último ano obteve o recorde de velocidade em Le Mans, mantido até hoje. O carro foi imortalizado e pilotado por Steve McQueen, no filme “Le Mans” de 1971.



Figura 18: Porsche 917 vencedor das 24h de Le Mans de 1970 e1971 (www.miataturbo.net)

O *Gurney flap* inicialmente era um componente de barcos, utilizado em barcos de recreio de alta velocidade, ferries rápidos, veleiros de alta performance, entre outros. Este componente é constituído por uma placa fina montado na popa (traseira do barco) ou perto desta, praticamente perpendicular ao plano médio. Esta posição e orientação faz com que o fluido nesta zona altere a sua direção, através da adição de uma pressão normal ao casco do barco.

Este dispositivo aerodinâmico foi desenvolvido na década de 70 para o carro de corrida de Dan Gurney, para aumentar a *downforce* na asa traseira. Em iates de alto desempenho este componente demonstrou uma redução acentuada na resistência sobre águas calmas, beneficiando com 10 a 18 %, para uma faixa de velocidade de 8 a 20 nós. O tamanho do *Gurney flap* é proporcional ao comprimento, ou seja, $h/L = 0,154 \%$ (Day & Cooper 2011).

Para além da parte eletrónica, a suspensão, os pneus, as características aerodinâmicas, para se atingir altas prestações de qualquer carro de corrida, é importante a análise de todas as variáveis em jogo. Uma das variáveis ao qual as equipas e mesmo o regulamento para as provas estão preocupadas é a questão de acidentes, nomeadamente quando as asas são destruídas. Como foi mencionado, estes dispositivos, conferem a aderência necessária do veículo à pista. No entanto, a lateral do veículo também interfere na estabilidade, melhora a manobrabilidade em altas velocidades, principalmente num carro de alto desempenho, tipo Fórmula 1, ou mesmo um Protótipo de Le Mans (LMP). Por vezes, as asas laterais são apelidados de *spoilers*.

Quando um destes dispositivos é destruído, a distribuição da força vertical no carro é afetada drasticamente, reduzindo bruscamente a manobrabilidade. Em caso de destruição das asas laterais, o ar é direcionado para baixo do veículo, aumentando a resistência e diminuindo a *downforce*. Numa destruição total da asa traseira, quer a resistência quer a *downforce* são reduzidas. Quando a asa traseira e a lateral são destruídas, o carro produz menos resistência, por outro lado, mas produz menos *downforce*. A asa dianteira, contribui maioritariamente para a *downforce* (Wang et al. 2010).

De acordo com o regulamento empregue para LMP1 (Anexo 1), o painel debaixo do veículo, é constituído por uma placa plana, rígida e impermeável (figura 19).

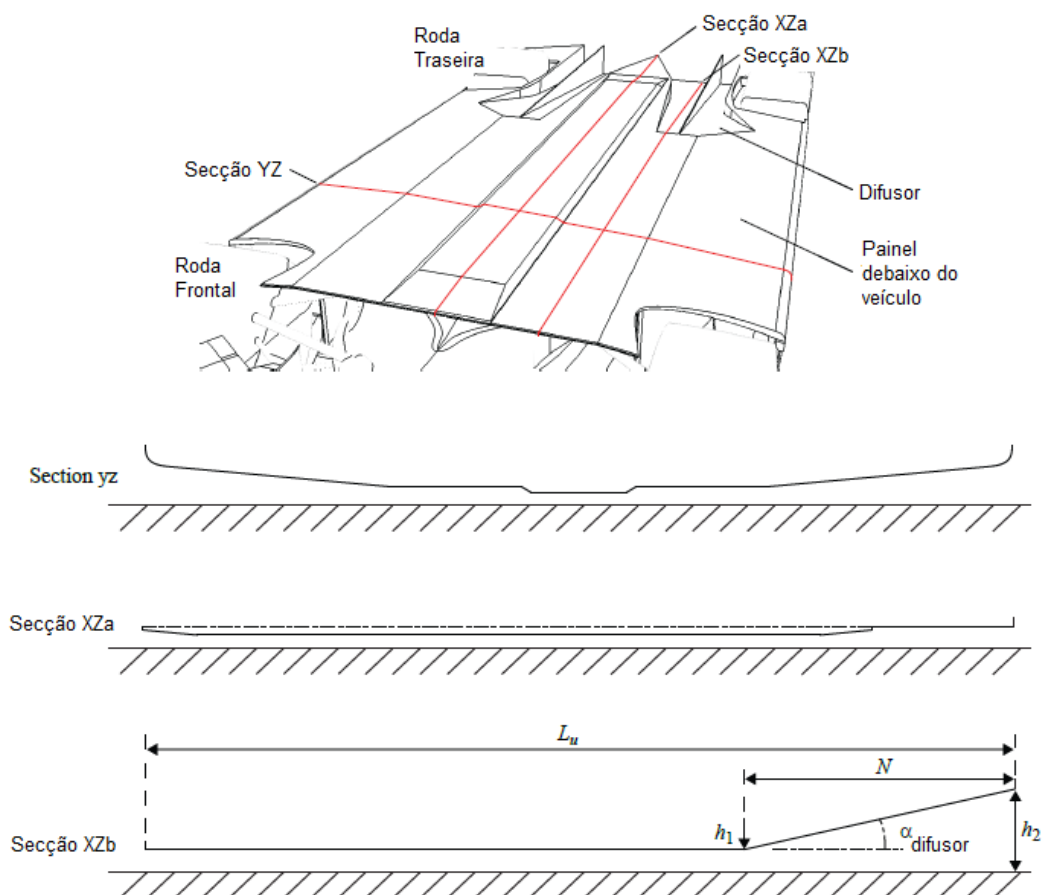


Figura 19: Painel debaixo do veículo e o respetivo difusor, seccionados lateralmente e longitudinalmente (Stevenson 2012)

O painel inferior do veículo comporta a maior área do veículo, vai desde o eixo frontal até depois do eixo traseiro. Nesta zona mais recuada está alojado o difusor. De acordo com a legislação, o painel inferior do carro tem um comprimento L_u de 3700 mm e o difusor possui um ângulo de $6,5^\circ$, tendo como cota h_1 a altura de entrada e h_2 a altura de saída. A extensão do difusor é demarcada com N , unindo a entrada e saída do difusor. Este último é utilizado para reduzir as forças de sustentação nos veículos, permitindo a redução da resistência através da redução da pressão (Stevenson 2012). O papel do difusor é expandir o escoamento debaixo do carro para a zona da traseira com um aumento mínimo de pressão, o que reduz a esteira e a resistência de forma. Na construção do difusor, os principais aspetos a ter em conta é o ângulo da rampa, a curvatura e o seu comprimento. Diversos ensaios são realizados a fim de determinar qual as características ideais para o difusor. Alguns autores referem que o ângulo ideal da rampa seria de $17,8^\circ$, mas num teste em túnel de vento verificou-se que a rampa com ângulo de $9,64^\circ$ produz maior *downforce*. Dai a proveniência da designação utilizada em engenharia, de bomba geradora de *downforce* (Peddie & Gonzalez 2009).

De acordo com (Zhang et al. 2006), o difusor converte a energia cinética de um escoamento num aumento de pressão. Num escoamento subsónico ($0.3 < M < 0.8$) isto é conseguido, graças a um aumento da área de passagem. Esta zona é a parte do veículo, que tem recebido menos

atenção, embora seja largamente utilizado em veículos de alto desempenho, aumentando a *downforce*, através do aumento da aderência mecânica. Uma característica importante do escoamento é que a pressão na base de corpos rombos permanece relativamente constante, enquanto a altura do modelo varia. Contrariamente, com a redução da altura do modelo, a pressão na zona inferior do veículo aumenta a pressão aerodinâmica.

A variação da pressão aerodinâmica e a distribuição de pressões é alterada consoante o ângulo de ataque (α), representado na figura seguinte.

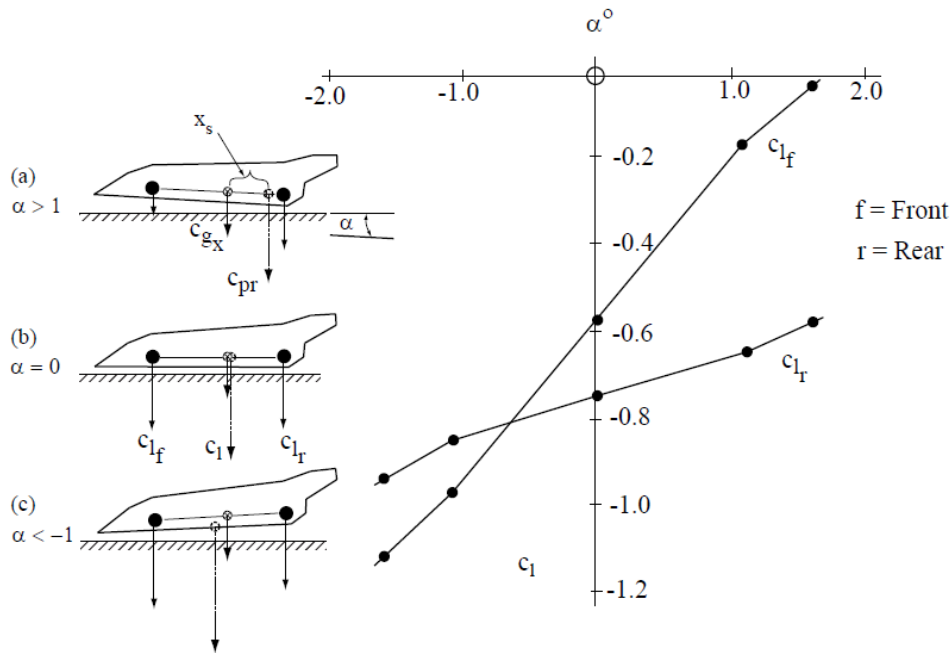


Figura 20: C_L e distribuição de pressão em função do ângulo de ataque do veículo (α) (Stevenson 2012).

Na representação gráfica do veículo, lado esquerdo da figura, é representado o centro de pressão (c_{pr}), representada pelo vetor força, como a soma do perfil de pressões num determinado ponto do veículo. O c_{gx} representa o centro de gravidade e a distância entre o c_{gx} e o c_{pr} é denominada de margem estática (x_s). O c_{lf} e o c_{lr} representam os coeficientes de *downforce* quer na roda frontal e traseira.

Analisando os três caso separadamente, em (a), com o nariz para cima, ou ângulo de ataque positivo, o C_L é mantido. No entanto, o c_{pr} é empurrado para junto da roda traseira. Em (b), com um ângulo de ataque de 0° , ponto de funcionamento ideal, ou seja, o c_{pr} está a atuar logo após o c_{gx} , ocasionando um veículo equilibrado aerodinamicamente. Por último, (c), com um ângulo de ataque negativo, origina o inverso de (a).

No caso em que o c_{pr} passa para a frente do c_{gx} , as características de condução e mesmo a aerodinâmica são alteradas, tornando o veículo instável. Desta forma, é de grande importância a minimização das alterações quanto ao x_s , pois este é responsável pelas características de condução dinâmica. Geralmente, a posição do c_{gx} é feita pela relação entre o coeficiente de

downforce frontal com o coeficiente de *downforce* total ($r_{cl}=C_{df}/C_L$). O r_{cl} está compreendido numa gama de $0.4 \leq r_{cl} \leq 0.5$.

Face à legislação imposta e as altas exigências da *downforce* na produção de um carro estável e seguro, a distribuição e o desenvolvimento de *downforce* está interligado ao efeito da altura ao solo do veículo. Na prática, a maioria dos carros de corrida são “fabricados” com alta constante elástica de mola, minimizando as mudanças de altura ao solo devido à carga aerodinâmica variável (Stevenson 2012).

Nas várias provas de Le Mans a inovação está sempre presente, sendo, de seguida, apresentados dois carros que traduzem isso muito bem. Em 2012 dá-se o aparecimento do Delta Wing, apelidado de “Project 56”, que foi um projeto original do diretor de corrida da Ganassi Ben Bowlby em resposta aos vários pedidos para a criação de um novo chassis para Indycar. A imprensa mundial, assemelhou este design a um jato de combate e não a um carro de corrida. Este carro caracteriza-se por menor peso no eixo traseiro (cerca de 75 % a menos) e a diferença da largura dos pneus frontais (www.deltawingracing.com).



Figura 21: Delta Wing, testes em Sebring 2012 (www.deltawingracing.com)

Em Le Mans foram necessários três anos para aparecer um veículo revolucionário, com a receção de uma equipa que traz um novo design: desta vez é trocado o lugar do motor com o cockpit, no Nissan GT-R LM Nismo (figura 22). Surge assim, um veículo com tração frontal, através do motor de combustão interna, um V6 a 60° com 3.0 litros bi-turbo de 550 cavalos (cv), auxiliado com um sistema de recuperação de energia no eixo dianteiro, transmitida ao eixo traseiro por motores elétricos. Esta separação de transmissão de potência a eixos diferentes produz cerca de 700 cv. Os pneus também foram reformulados, com a limitação máxima à frente de 14” de largura e 9” de largura na traseira. Contudo a Nissan utiliza jantes de 16” em ambos os eixos, contrariamente aos rivais que utilizam jantes de 18”. Esta alteração traz um ganho na aerodinâmica e no momento de inércia.



Figura 22: Nissan GT-R LM Nismo (www.jrmphotos.be/en/blog/technical/nissan-lmp1.html).

2.3. MATERIAIS

Nos desportos onde o fator resistência aerodinâmica é determinante, tais como no automobilismo, natação, ciclismo é de extrema importância a sua redução. Para os protótipos de Le Mans, que estão sob influência deste fator, é obviamente fundamental reunir um conjunto de esforços na tentativa de o minimizar o mais possível. No entanto, com o incremento da velocidade, o veículo necessita gerar *downforce* para aumentar a sua estabilidade. Devido ao regulamento atual, a zona à qual ainda é permitida alguma liberdade é debaixo do veículo. Esta zona, como foi referido, é caracterizada pelo efeito de solo ou Venturi e tem como objetivo a minimização da resistência do fluido sobre as paredes do veículo, recorrendo a diversos materiais. Nas subsecções seguintes, faz-se uma abordagem cuidada dos materiais propícios a minimizar o fator resistência, tais como o carbono, fibras de vidro, tinta de automóvel, membrana de tubarão, fato de poliuretano, cortiça, película de vinil e a tinta aeronáutica.

2.3.1. Fibras de carbono

Um dos materiais mais falados na atualidade, devido não só às suas propriedades físicas, mecânicas, a sua produção, é a fibra de carbono (figura 23).



Figura 23: Bobine de fibras de carbono (www.directindustry.es).

Devido ao seu alto desempenho e alta leveza, são aplicadas em zonas críticas ou em que é requerido forças de elevada ordem de grandeza (Ma et al. 2014). Estas fibras são frequentemente utilizadas na aviação (Qin et al. 2015), em automóveis (Jacob 2014), no desporto (Yildirim et al. 2014), na área militar (Unterweger et al. 2015), na engenharia civil (Perret et al. 2011) como elementos estruturais ou de reforço, sejam eles cerâmicos, metálicos, entre outros (Luo et al. 2014). Um aspeto menos favorável à utilização destas fibras é a resistência ao dano, onde são extremamente limitadas. Isto tem origem na cedência ou descolagem da matriz, originando uma delaminação e rompimentos transversais. De uma forma mais prática, para minimizar este efeito, as peças são sobredimensionadas (Greef et al. 2015).

No que se refere à produção desta fibra, estima-se um acréscimo da sua produção até às 140 mil toneladas em 2020. Estes valores devem-se ao facto de cada vez mais se aplicar este tipo de material na conceção de novos aviões. Por outro lado, já existe a preocupação ambiental e, como tal, há a necessidade de reduzir substancialmente os resíduos produzidos por estas indústrias (Yildirim et al. 2014).

Atualmente, a investigação e a própria produção de componentes à base destes materiais, combinam alta rigidez com a baixa densidade, ou seja, materiais compósitos. Isto significa que dois tipos de fibras são combinadas para formar um composto híbrido, o material compósito normalmente quem acompanha estas fibras de carbono são a fibras de vidro (Swolfs et al. 2015). A integração de outras fibras permite criar compósitos com vantagens esplêndidas, de modo a que a sua resistência e módulo de elasticidade possam ser orientados de modo otimizado para minimizar a massa final, conduzindo a uma redução drástica de custos quando comparados apenas com as fibras de carbono (Unterweger et al. 2015).

No entanto, todo o potencial das fibras de carbono reforçado com diferentes polímeros ainda não foi totalmente explorado. Devido à sua superfície quimicamente inerte e baixa energia de superfície, as fibras de carbono apresentam fraca adesão interfacial com matrizes poliméricas, mesmo com polímeros não polares como PP (polipropileno). Portanto, as fibras comerciais disponíveis são geralmente revestidas com resinas que contém diferentes grupos funcionais. O

revestimento de fibras de carbono comuns são o uso de PA (poliamida), PU (poliuretano) ou de EP (epóxi) compósitos. Para facilitar ou mesmo melhorar a adesão de várias matrizes poliméricas, utilizam-se métodos de tratamento de plasma (Unterweger et al. 2015).

Hoje, o reforço das fibras de compósitos poliméricos têm atingido um grau de interesse enormíssimo, devido às suas potencialidades, em que a fibra sozinha não é capaz de cumprir as exigências que são hoje estabelecidas. Uma forma de melhorar as propriedades mecânicas é empilhar camadas de grafeno, em forma de círculos (plaquetas). A obtenção de propriedades mecânicas superiores, por exemplo, o módulo de resistência, excelente condutividade elétrica, boa condutividade térmica e um baixo custo faz com que este material de forma circular em escala nano intitulado nanoplaquetas de grafeno um excelente candidato na obtenção de materiais superiores.

Contudo, a sua produção está interligado à quantidade da dispersão das nanoplaquetas de grafeno, ou seja, o desenvolvimento de tensões internas, graças as interações de Van der Waals durante a sua agregação. A aplicação deste tipo de materiais ainda é um desafio, ainda é produzido numa escala laboratorial, este tipo de materiais ainda tem um longo caminho a percorrer até alcançar a produção massiva. No entanto, um novo processo para a sua produção é executado, através de revestimento por imersão. Este processo consiste num revestimento uniforme de uma elevada densidade de partículas. As nanoplaquetas de grafenos são dispersas por sonicação, numa solução de N-metil-pirrolidona com epóxi, de seguida são dispersas fibras de carbono à mão (figura 24).

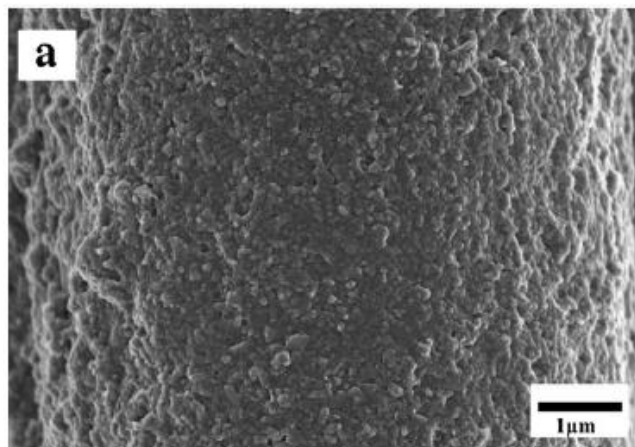


Figura 24: Microscópio eletrônico de varrimento (SEM) das fibras de carbono revestidas com nanoplaquetas de grafeno (Qin et al. 2015).

Findado este processo, o revestido é seco num forno a 75 °C durante 1 hora e 60 °C durante 3 horas. Esta técnica de revestimento permite uma eventual produção industrial. Para uma concentração de 3% de nanoplaquetas de grafeno, permite elevar o valor da resistência ao corte em 52 MPa (Qin et al. 2015).

Uma das desvantagens dos materiais de carbono é a sua oxidação a temperaturas mais elevadas do ar. Portanto, são necessários sistemas de proteção eficazes da oxidação em compósitos de fibra de carbono. Existe um infindável número de proteções contra a oxidação, tais como revestimentos metálicos (alumina-sílica, carboneto de titânio), revestimento por imersão, electro polimerização e alta temperatura de polimerização por deposição de vapor. Contudo, estes revestimentos apresentam desvantagens, dado que reduzem a resistência da fibra, devido ao aumento da resistência interfacial dos materiais compósitos, fragilizando-os. Mas estas desvantagens são minimizadas com o recurso a revestimentos híbridos orgânico-inorgânicos para ambientes extremos. O material inorgânico atribui vantagens, tais como, inércia, resistência Ultra Violeta (UV), adesão à superfície de base e da estabilidade térmica. Por outro lado, o material orgânico atribui igualmente vantagens, flexibilidade, dureza, ductilidade e capacidade de processamento. Um outro possível candidato a revestimento nanocompósito orgânico-inorgânico é a poliimida (Polyimides), este constituinte de matriz orgânica apresenta características ímpares, tais como, resistência mecânica, elevada inércia química, boa estabilidade térmica, baixa constante dielétrica, entre outras. Este composto quando agregado a outro material, por exemplo sílica, o poliimida-sílica é usado em processo sol-gel é considerado o material mais adequado para o revestimento compostos híbridos, muito utilizados para a produção de filmes em diversas áreas, na microeletrónica, na indústria aeronáutica, etc. O sol-gel é muito recorrida para a deposição de partículas coloidais carregadas eletricamente condutora sobre o substrato (He et al. 2011).

Uma das diversas aplicações da fibra de carbono é na construção de monocoque no desporto automóvel, por exemplo. A construção da estrutura deverá cumprir com os regulamentos impostos para a classe, veículo, entre outras. A construção de um monocoque para o WEC de Le Mans aplica a laminação de fibras de carbono, material obrigatório na sua conceção. Outros parâmetros são impostos pelo referido regulamento, a obtenção de uma rigidez torsional de 40 KNm/°, deve ser possível albergar duas pessoas no seu interior, garantir a segurança, entre outras. Para além das propriedades anteriormente transcritas, estas possuem também boa capacidade de moldagem de estruturas complexas, por exemplo curvaturas, tendo elevada rigidez em relação à massa.

A estrutura representada na figura abaixo, mostra a posição do condutor, as dimensões máximas admitidas, os pilares e as zonas de visão (janelas laterais e pára-brisas).

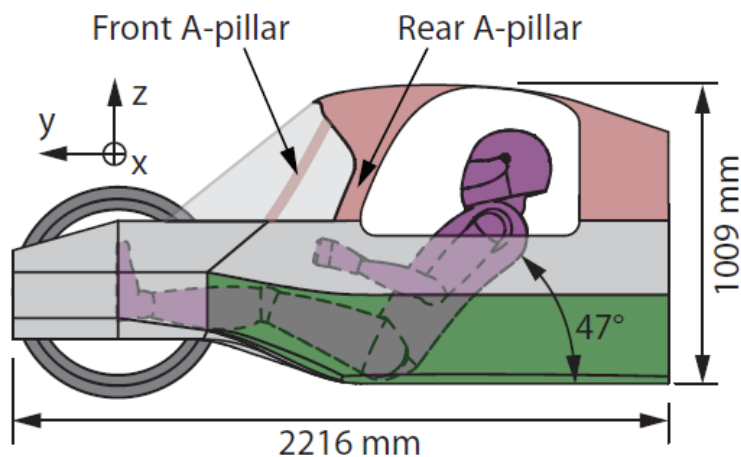


Figura 25: Vista lateral, com piloto (Jakobsen et al. 2013).

Um monocoque deverá ser produzido como uma peça única, contudo é possível a utilização de uma abordagem de junção por colagem de várias peças. Como meio de alcançar os limites impostos à estrutura, é utilizado um modelo de elementos finitos, permitindo uma redução no tempo da sua construção. No entanto, o modelo irá permitir a representação estrutural das tensões impostas à superfície, sendo um recurso para estimar as zonas de falha, entre outras. Por forma a não induzir tensões inter-laminar, ou mesmo alterar o efeito de ligação no laminado (flexão, torção, entre outras), é extremamente importante a análise da espessura e direção das fibras. A carga deverá ser distribuída de igual modo por cada camada, por isso é essencial a reorganização das fibras. Este estudo apresenta um monocoque com colaboração da Aquila Racing Cars, onde a sua massa total é de 51,77 kg e com uma rigidez torsional de 39,536 kNm/°, valor próximo do permitido pelo regulamento (Jakobsen et al. 2013).

Um outro estudo para a conceção de um monocoque com aplicação das fibras de carbono é apresentado. Contudo, este estudo foca-se na região onde o sistema de suspensão é montado, para tal, esta zona é examinada usando um programa de elementos finitos, com solicitação a cargas. A zona é otimizada de forma a encontrar as dimensões mínimas admissíveis, mas mantendo a integridade estrutural. No entanto, esta otimização irá surtir efeito na massa e no centro de massa do veículo (Johansen et al. 2014).

O comportamento de certos materiais, influenciam o desempenho mecânico, ou seja, um material não obtém grau de satisfação elevado quando aplicado sozinho. Desta forma, a fibra de carbono com resina epóxi, trouxe desenvolvimento significativos no mundo automóvel, como reforço de chassis do Grande Prémio de F1. A produção deste tipo de veículos é dominada por compósitos. Graças à sua capacidade de absorção de energia é utilizado o carbono de uma forma composta para sistemas de retenção de energia. Um dos produtos é a parte da segurança onde carbono-carbono são utilizados nos travões e embraiagens dos Fórmula 1 (F1).

No caso do veículo de F1, tudo conta, peso, tecnologias, velocidade, segurança, entre outras, para que todo o investimento tenha retorno. A chave para o sucesso é a capacidade de obter a

melhor solução, tais como, o piloto, motor, pneus, aerodinâmica, inovação técnica e confiabilidade. Ciência e engenharia de materiais compósitos tem tido uma significativa, muitas vezes crucial, no desenvolvimento de um F1 (Savage 2010).

Atualmente, graças à sua panóplia de funcionalidades, os compósitos de fibras de carbono têm mostrado estar à altura dos desafios recentes. Um dos casos é no fabrico de componentes de absorção de energia, por exemplo para o desporto motorizado na caixa de impacto. Em comparação com estruturas metálicas a sua absorção de energia é sob a forma de deformação plástica. A conceção de peças em compósitos devem fornecer uma dissipação estável, ou seja, regular e controlar a energia cinética, a fim de manter o nível de desaceleração o menos possível. Quer a análise analítica, experimental ou mesmo a numérica são formas de análise possíveis da resistência de uma estrutura ao choque.

Uma caixa de impacto ou estrutura de retenção de impacto, estrutura obrigatória no desporto automóvel. No caso da Fórmula SAE, a estrutura é submetida a circunstâncias de cargas estáticas de compressão. As exigências impostas pelas regras SAE de 2008 exigem que a solução adotada origine uma desaceleração média inferior a $0,2 \text{ m/ms}^2$ (20g). Para cumprir com as regras, será criar curvas de deslocamento, com um nariz em cone. Os testes experimentais são muito úteis para prever o colapso da estrutura, juntamente com os testes analíticos e numéricos (LS-DYNA -Solver FE) dado que, são muito úteis para prever os resultados experimentais, quer de rigidez, mecanismos de colapso, entre outros. É possível fazer uma relação entre os resultados experimentais e numéricos a fim de confirmar a sua autenticidade, recorrendo a gráficos de força em relação ao deslocamento (Obradovic et al. 2012).

A dependência de recursos renováveis está em grande expansão a cada ano que passa, contudo a tecnologia têm dado uma ajuda no desenvolvimento de novos materiais capazes de colmatar esses requisitos. Durante décadas as resinas epóxi e poliéster tem sido amplamente utilizadas como matrizes para materiais compósitos. Porém, as poliamidas e as polissulfonas, têm recebido alguma atenção, principalmente pela sua propriedade de sob elevadas temperaturas ($> 300^\circ\text{C}$). Por outro lado, os polímeros termorrígidos permitem a possibilidade de mistura com fibras de uma forma simples e de baixo custo. As resinas termorrígidas mais aplicadas são poliéster, poliuretano, estervinílicas e fenólicas (Oliveira et al. 2014).

2.3.2. Fibra de vidro

Quando se fala na fibra de vidro (figura 26), normalmente designada desta forma, visto que a sua base é essencialmente constituída por fibras de vidro. Elas são um reforço muito utilizado para o fabrico de materiais compósitos à base de matrizes poliméricas.



Figura 26: Fibra de vidro (www.quimer.pt).

Estas matrizes são geralmente de compostos orgânicos, resinas termoestáveis, poliéster, viniléster, fenólicos e epóxi. Quanto às resinas de poliéster, estas são essencialmente bisfenólicos e orto ou isoftálica, constituindo cerca de 75% da matriz. A utilização das fibras de vidro reforçado são muito utilizadas na indústria automóvel, indústria aeronáutica, na engenharia civil, mecânica e biomecânica, entre outras (López et al. 2012). Na próxima figura, pode-se observar como ambos os materiais se agrupam.

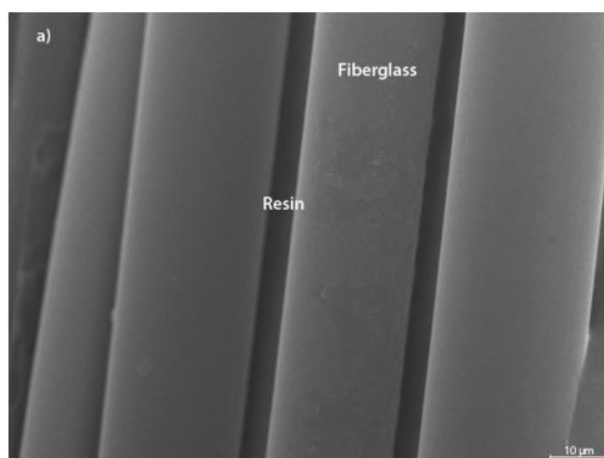


Figura 27: Microscopia eletrónica de varrimento (SEM), mostrando as fibras de vidro com a resina (López et al. 2012).

Nesta última década, o campo da reparação de pavimentos rodoviários levou à utilização de materiais cada vez mais funcionais. Desta com a utilização de materiais intitulados rede geotêxtil ou geogrelhas (geogrids), no interior ou mesmo entre camadas do asfalto, ao qual a sua reabilitação ou manutenção são necessárias. No que toca ao reforço, é sabido que depende do material empregue no geotêxtil, geometria, o próprio tamanho, forma, posição e rigidez. Permitindo o aumento da duração do pavimento, reduzindo assim o aparecimento de fissuras e deformações permanentes. O reforço deste tipo de materiais prolonga a vida útil dos pavimentos numa gama de 1,2 a 1,8 vezes superior, comparativamente ao pavimento convencional (Ferrotti et al. 2012).

As partículas ocas, intituladas de microesferas, podem ser feitas de metais, cerâmicos, polímeros, através da dispersão pelo material da matriz. Esta dispersão proporciona um baixo peso, alta capacidade de compressão e impacto e baixa absorção de humidade. Existe uma relação entre frações maiores e menores de volume de esferas no material da matriz. Para maiores percentagens, traduz numa matriz quebradiça, tais como as resinas epóxi, onde permite a redução de peso significativo, consentindo um aumento da flutuabilidade, em estruturas aeronáuticas onde se deseja aumento da carga. Para menores percentagens leva a uma menor força de espumas sintáticas (partículas ocas com preenchido de compósitos). Desta forma, através da utilização de fibras curtas nas espumas sintáticas é uma forma de aumentar a resistência e a própria rigidez. Com a adição de 3,64 % do volume de fibras de vidro nas espumas sintáticas, aumenta a resistência à flexão em 21%. Outra forma de a aumentar é orientando as fibras na direção da carga. A aplicação de fibras contínuas permite uma ampla gama de possibilidades e um maior desempenho, comparativamente à utilização de fibras curtas, aleatoriamente distribuídas, especialmente para grandes volumes (Wang et al. 2014).

Uma outra faceta da fibra de vidro é quando esta fibra de vidro é à base de sílica. Este material é largamente utilizado na indústria, devido às suas facetas ótimas, ou seja boas propriedades, tais como a resistência ao calor ou mesmo o isolamento elétrico. Contudo, devido à sua potencialidade, os engenheiros químicos debruçam-se sob a sua aplicação como catalisador, em apoio à catálise heterogénea. Esta função extra, traz como vantagens a alta estabilidade térmica, elevada resistência mecânica e melhores propriedades hidrodinâmicas. Com a flexibilidade dos tecidos de fibra de vidro, há a possibilidade de criação de novos tipos de leitos catalíticos estruturados e reatores catalíticos com flexibilidade de projeto. Os catalisadores de fibra de vidro demonstram melhores desempenhos catalíticos, devendo-se ao facto da capacidade da fibra de vidro estabilizar as nanopartículas metálicas dispersas. O excelente desempenho do catalisador, reconhece-se que foi devido ao baixo teor de metal, não superior a 0,01 - 0,02% de peso. Os catalisadores à base em metais do grupo da platina e outros elementos raros e caros, isto permite o benefício adicional de baixo preço.

Como forma de melhorar as propriedades das fibras de vidro, estas são modificadas com aditivos de várias naturezas. Estes podem ser a zircónia e a alumina, responsáveis por conferir uma força extra e retardar os processos de desvitrificação indesejáveis. Quando comparado a fibra de vidro à base de sílica pura, com a fibra de vidro modificada com zircónia, esta última é mais estável no que se refere à desvitrificação. Para caracterização do efeito da zircónia na fibra, foi utilizado a espectroscopia multinuclear (NMR) ^1H , ^{23}Na , ^{29}Si e ^{91}Zr . O ^{29}Si RMN foi o responsável pela compreensão da modificação da zircónia na fibra, permite a compreensão relativa à sua estabilidade no sentido da desvitrificação (Lapina et al. 2011).

O material em fibra de vidro, é produzido sob a forma de tecido de fibras de vidro. Estas fibras de vidro possuem um diâmetro de 5 a 10 μm . Para além de ser um componente de reforço, é também utilizado como isoladores térmicos e elétricos. A fibra de vidro é um material muito

auspicioso para utilização na catálise. Devido às suas vantagens, por exemplo a elevada resistência mecânica e estabilidade térmica (1200 °C), melhoria das propriedades hidrodinâmicas, bem como a possibilidade em desenvolver reatores catalíticos de uma nova conceção e utilização de leitos de catalisador unidades estruturadas de cartucho em vez de leitos de catalisador difíceis de operar.

As superfícies das fibras de vidro são altamente enriquecidas com Sódio (Na) e Silício (Si). A maioria das fibras são constituídas por redes tridimensionais de tetraedros de Silício-Oxigénio, por vezes alguns tetraedros estão ligados através de Zircónio ou a silicatos de sódio. Para além dos silicatos de sódio, existem também carbonatos de sódio, presentes nas camadas subjacentes das fibras, onde são formados pela interação de Na com dióxido de carbono (CO₂), difundido nas superfícies pela atmosfera.

A possibilidade de substituição de iões de Na por protões, chamada de lixiviação, onde há a dissolução do carbonato e silicatos de Na, para formar de uma camada de SiO₂-Zr na superfície da fibra. A camada de silicato sobre a superfície de Zircónia (Zr) é muito importante no desenvolvimento de bases dos catalisadores (Glazneva et al. 2012).

A fibra de vidro tem uma utilização, por exemplo em veículos movidos a energia solar. O veículo que a Universidade de Kentuchy desenvolveu e construiu esteve em prova no Formula Sun Grand Prix de 2009. O Gato del Sol IV, como foi batizado, possui um painel solar de 480 células voltaicas de silício monocristalino. As células são montadas sobre um involucro de fibra de vidro e espuma. O Gato del Sol IV, que tem uma velocidade máxima de 75 mph, é o carro mais rápido movido a energia solar do mundo (Mangu et al. 2010).

Na década de 1940, os compósitos de fibras de vidro com resina epóxi foram utilizados na produção do corpo de carros da Aircraft Company. A produção desta forma trouxe a redução do seu peso até 175 kg. Só em 1980 é que polímeros reforçados com fibras são introduzidos na Fórmula 1 pela equipa McLaren. Atualmente os vários fabricantes de automóveis usam os compósitos para produzir peças, tais como capô, teto, spoilers, entre outras (Poozeinolabedin & Golzar 2011).

A fibra de vidro também pode ser agregada a outros materiais, tais como o serrim de madeira. Esta união tem atraído muito interesse, são apelidados de compósitos de madeira plástica. As suas vantagens passam pela economia no custo, baixa densidade, proporciona a reutilização, com boas propriedades mecânicas quando comparados com fibras/compostos plásticos sintéticos. Os compósitos de madeira plástica, muito utilizada, quer em janelas, perfis de portas, painéis para automóveis, passadiços, etc. No entanto, a sua adesão tem incompatibilidades químicas entre a matriz de fibras hidrófilas e hidrofóbicas. Para alterar as incompatibilidades, existem um método químico ou seja, de acoplamento químico, onde reage com os grupos hidroxilo na superfície da fibra. A superfície passa a ser molhável pelo polímero para promover a ligação covalente com a matriz.

Uma forma de permitir a compatibilidade entre a matriz e a fibras é recorrendo a um compósito de alta densidade (polietileno de alta densidade com hidreto maleico HDPE-g-MAH). Este composto resulta numa eficaz adesão interfacial entre as fibras de vidro, serrim de madeira e o polietileno de alta densidade.

Como vantagens desta ligação temos, uma absorção de água abaixo de 0,7 %, resistência à tração e flexão, entre outras (Yang et al. 2011).

Apesar das excelentes propriedades que este tipo pode oferecer, estas não são normalmente transparentes. Contudo, um trabalho recente de Osaka Municipal Technical Research Institute (UMTRI), onde apresentam uma solução para transformar a fibra de vidro transparente. Para tal, mediante a adaptação das propriedades do material da matriz, o índice de refração (RI), pode ser alterado, ou seja, coincidindo-o com o índice de refração da fibra de vidro. A matriz do polímero é constituída por uma mistura de fotoativados polypropylsilsesquioxane e um composto de alquilo. A transmitância do polímero é apresentado na seguinte figura.

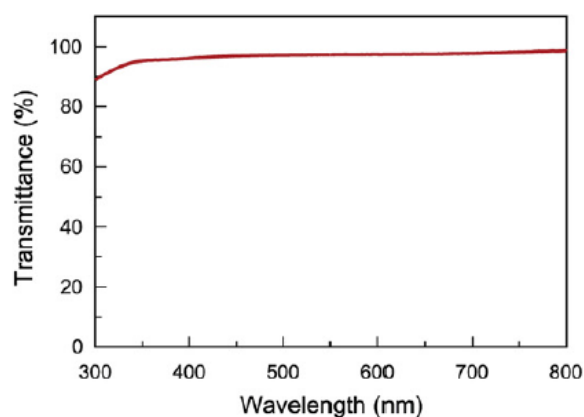


Figura 28: Transmitância de matriz fotoativados (Krug et al. 2013).

Como funcionalidade para este produto, devido às suas excepcionais características, tais como, alta resistência, leveza, entre outras, seria para uso em óculos de proteção para desporto, capacetes ou mesmo para molduras de janelas, etc. É possível a produção de um material em fibra de vidro com alta transparência, até 84 %. Estes novos compósitos, possuem propriedades mecânicas superiores às fibras de vidro convencionais, pois apresentam uma resistência à tração de 333 ± 12 MPa e uma resistência à flexão de 436 ± 28 MP, para uma densidade aproximada de $0,012$ g/cm² do tecido.

Com uma melhoria significativa dos defeitos da superfície, permite uma melhor transparência desta (Krug et al. 2013).

Um outro estudo em que se pretende melhorar as propriedades de compósitos reforçados com fibras de vidro. Pretende-se assim, verificar quais os efeitos das partículas de nanoargila sobre o impacto e as propriedades de flexão do poliéster insaturado. No poliéster insaturado é introduzido nanocompósitos de argila, com 1,5 % e 3 % de peso. A introdução de nanoargila nas matrizes poliméricas tem mostrado melhoria de propriedades, tais como a resistência à chama,

entre outras. Esta adição aumenta a resistência à compressão do compósito polimérico com fibra de vidro. No entanto, compósitos poliméricos com reforço de fibras de vidro, apresentam preocupações acrescidas quanto ao comportamento destes em relação a impacto de cargas, quer em alta ou baixa velocidade. Em baixas velocidades, a adição de 5 % de nanoargila apresenta um aumento na absorção de energia.

O teste de flexão obteve melhores resultados em amostras contendo 1,5 % de peso de nanoargila. Porém, com o aumento do teor de nanoargila, existe uma diminuição do resultado no teste de impacto Izod. O teste a alta velocidade de impacto é realizado com uma arma de gás com uma gama de velocidade de 90 a 220 m/s e um projétil de ponta hemisférica de aço endurecido. Igualmente para a mesma percentagem, 1,5 % de peso de nanoargila, é obtido um alto desempenho de absorção de energia. A extensão do dano na peça não é afetada pela presença de nanoargila (Esfahani et al. 2011).

Com a produção de um laminado por fibras de vidro aplicadas em 3D entre chapas de liga de magnésio, é possível obter melhorias na resposta quanto a impacto a baixa velocidade. Esta nova estrutura, apresenta uma rigidez de flexão maior que as convencionais, onde são sobrepostas quatro camadas de tecido horizontal. Quando são aumentadas as camadas para sete e dezasseis o número de camadas, o resultado é o inverso. Todavia, a rigidez à flexão específica das fibras de vidro em 3D, apresentam ser maior neste caso. Isto é devido ao peso, relativamente leve e uma maior espessura. A deformação é feita através de um equipamento de teste de impacto Charpy modificado, consiste num pêndulo, com um dispositivo elétrico.

Nas estruturas em 3D de fibras de vidro, esta estrutura absorve maior energia de impacto quando comparado com as três estruturas convencionais. Por outro lado, a deformação causada pelo pêndulo foi maior na estrutura 3D. No que toca à rigidez aparente, são apresentadas por ordem decrescente, 16, 7, 4 de camadas de tecidos biaxiais e 3D camadas tridimensionais.

Como forma de atenuação o tamanho da deformação provocada pelo pêndulo era recorrendo a um aumento do número de camadas de fibras de vidro. Recorrendo a um código de elementos finitos ABAQUS é possível simular a resposta das demais estruturas, permitindo ainda uma otimização das estruturas para situações de diferentes cargas (Asaee et al. 2015).

2.3.3. Tinta de automóvel

A tinta de automóvel, em geral, tem funções de proteção e de acabamento através da cor. A primeira camada aplicada sobre o veículo é o primário de electro revestimento capacitando o corpo com propriedades de resistência à corrosão. O primário permite também camuflar as imperfeições da superfície, de modo a acomodar o revestimento base (Maric et al. 2013). Presentemente, é uma prática muito comum na indústria automóvel. A proteção contra a corrosão propriamente dita, consiste, no revestimento com zinco e é precedido por cinco camadas. Uma camada de fosfato, uma camada de eletroforese, uma camada de tinta de base, uma camada de tinta metálica o que lhe confere a aparência metálica e uma camada transparente (Torkar & Goddec 2003). A camada contendo pigmentos, conhecido como revestimento de base. Esta é aplicada para se obter a cor desejada. Esta camada contém na

sua constituição partículas de alumínio, dando ao veículo o aspecto de metálico (Maric et al. 2013). Através da adição de pigmentos constituídos por finas camadas dielétricas de partículas de metal plana. As partículas de metal são da ordem do micrómetro de diâmetro. Para a deposição das partículas no revestimento, podem ser utilizadas duas técnicas, o sol-gel e a deposição química de vapor.

Devido aos revestimentos serem em metal, permite uma combinação de propriedades de cor visível únicas e atraentes, com capacidades de refletir um proporção elevada do componente de infravermelho. Possibilita uma cor refinada, ou seja, não estar confinado ao branco ou a cores pálidas. Obtendo uma tinta eficiente a nível energético, através da redução significativa do calor (Smith et al. 2003).

A última camada aplicada, é uma camada sem pigmentação, ou seja, com ausência de cor, conferindo proteção ao veículo da degradação ultravioleta, às condições atmosféricas e proteção das camadas subjacentes (Maric et al. 2013) (Torkar & Godec 2003). Só se dá o processo de pintura por terminado após o cozimento da superfície do veículo com um aumento da temperatura, como forma de corrigir e endurecer a tinta (Torkar & Godec 2003).

O revestimento de acabamento também apresenta um papel importante uma vez que afeta a emitância térmica, a cor e a distribuição de medição final de luz dispersa (Smith et al. 2003).

Quando vemos o caminho que este tipo de materiais teve ao longo da sua utilização. Satisfazendo exigências, tais como requisitos legais, por exemplo em questões ambientais, processos menos nocivos e requisitos dos utilizadores, por exemplo o brilho. A indústria automóvel, foca-se na obtenção da satisfação do brilho, duração da cor, resistência a riscos e queda de objetos (pedras), adesão ao longo das camadas, resistência química e resistência ácida. No que toca a requisitos da legislação, estas são normativas de saúde e segurança, compatíveis com ambiente, com preocupações da toxicologia dos materiais e processos, reciclagem, entre outros. Quer o próprio custo das tintas ou mesmo a competição, são fatores preponderantes na constante melhorias técnicas (Jurgetz 1995).

A cor tem uma função importante em sistemas de transporte inteligentes (ITS), apesar do grande avanço. Daí surge a necessidade em extrair uma eficácia relativa à cor do veículo. Contudo, a dificuldade do resultado da luz do meio ambiente no veículo, influencia a cor deste, originando uma falta de precisão do sistema. O problema é agravado ou inadequado na classificação de muitas cores. As cores são especificadas por um espaço de cores. O espaço de cores, modelo da cor ou mesmo sistema de cor, é utilizado para definir a cor ou mesmo a comparação entre cores, permitindo também a diferenciação das cores com uma elevada precisão na identificação. Existem três classes de sistemas de coordenadas, que definem o espaço de cores. Primeira é inspirado no sistema de visão humana, o RGB (componente espectrais do vermelho, verde e azul), HSI (significa matriz de saturação e intensidade), espaços de Munsell, entre outros. A segunda classe é baseada na aplicação específica como o YUV (Y como o componente de luminância ou brilho e UV como componente cromático ou cor), YIQ e CMY (K) e o terceiro é o espaço de cor CIE, incluindo CIE XYZ, espaço de cor Luv, entre

outras. Com a utilização de um algoritmo com um espaço de cor HSI na sua raiz, é possível a obtenção de um menor erro. Permitindo assim, um melhor reconhecimento da cor. Este método obtém uma maior taxa de sucesso em mudança ambientais extremas na classificação numa panóplia de cores (Li et al. 2010).

Atualmente, os revestimentos de automóveis são maioritariamente de resinas acrílicas puras ou modificadas com estireno combinados com agentes de reticulação melamina de sistema de um componente (1K). O sistema de revestimento ou verniz é de acrílico reticulado com resinas de poli-isocianatos, chamados de sistemas de dois componentes (2K). Mais recentemente, surge a comercialização de vernizes modificados (de um componente de poliuretano - 1K-PUR). O verniz é à base de resinas acrílicas, com reticulantes de melamina e com adição de poliuretano reativos para fortalecer o filme. Como é possível ver pela próxima figura, o verniz para melhor umas propriedades, tem que desprezar outras (Jurgetz 1995).

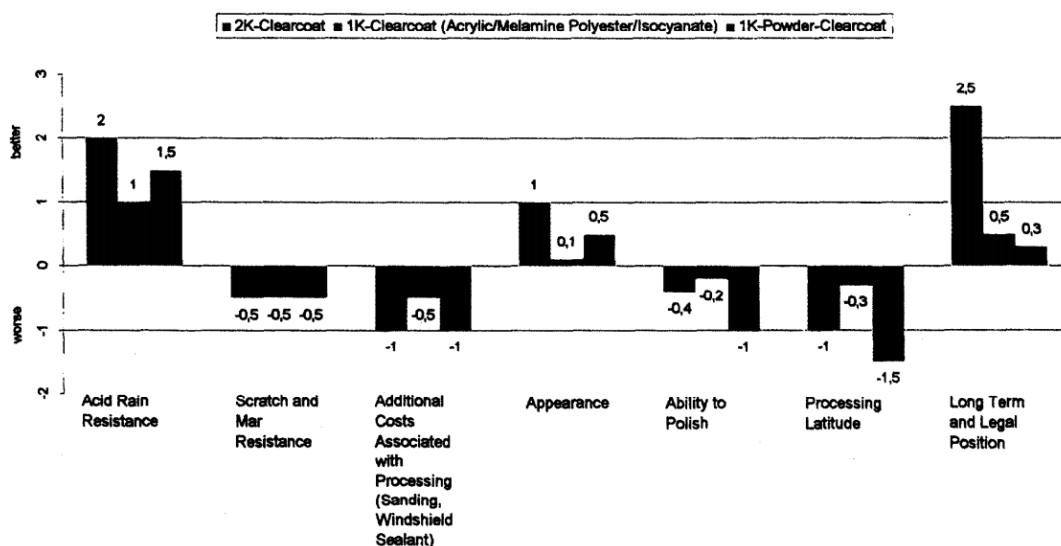


Figura 29: Resultados de vários revestimentos (Jurgetz 1995)

Outrora utilizados, as técnicas convencionais para quantificar a distribuição de pressões numa dada superfície, devido ao basto tempo de preparação, entre outras, surge atualmente uma nova abordagem alternativa. Abordagem esta que conjuga a redução de tempo e uma maior resolução de todo o modelo. Com o recurso a uma tinta sensível à pressão (PSP), é possível demonstrar em vários campos onde a dificuldade em medir a velocidade do escoamento, tais como numa superfície de aspiração de um compressor de lâmina avançada, ou mesmo numa asa de avião. É uma técnica em grande expansão, permite a medição de pressões sem recurso a meios invasivos, com ótimos resultados experimentais, com importância a alta resolução quando comparada com técnicas convencionais. É a primeira técnica capaz de dar uma visualização das pressões superficiais quantitativas de escoamentos complexos de ar (Jahanimiri 2011). Distribuições de pressão sobre os modelos inteiros podem ser medidos em poucos segundos (Mantel 2005). O princípio de funcionamento da PSP é baseada na extinção de

luminescência por oxigénio. A extinção foi inicialmente utilizada para detetar pequenas quantidades de oxigénio em aplicações médicas. Por volta de 1999 é aplicada em experiências aerodinâmicas como o sensor ótico para medir a pressão de ar sobre uma superfície. Estas experiências foram conseguidas no Instituto Central Aero-Hidrodinâmica (TsAGI), na Rússia e na Universidade de Washington, com a colaboração da Boeing e do centro de pesquisa Ames da NASA, nos Estados Unidos (Jahanmiri 2011). É uma técnica de medição muito importante nas medições em túnel de vento (Mantel 2005).

PSP é um corante luminescente disperso num aglutinante permeável ao oxigénio. O corante é excitado por absorção de luz, nomeadamente a partir da zona ultravioleta do espectro, retornando numa região de vermelho do espetro. O corante pode voltar ao seu estado fundamental sem emissão de luz, através da interação com as moléculas de oxigénio, sendo conhecido por têmpera de oxigénio. Deste modo, com o aumento da pressão do oxigénio aumenta por cima da PSP, a concentração de oxigénio no interior do aglutinante irá aumentar, e a intensidade da radiação emitida diminuirá (Mantel 2005) e (Jahanmiri 2011).

Devido à exposição dérmica potenciada pelas tintas em oficinas de reparação automóvel, existe a preocupação em avaliar esta exposição durante o processo de pintura, enchimento da pistola e a limpeza da pistola. Para além do contato dérmico também há a quantidade de tinta que entra em contato com o vestuário de proteção ou roupa de trabalho. Para as medições foi usado o método de amostragem por mancha em luvas absorventes. Os testes foram executados, apresentando-se apropriadas para a tinta à base de água com ácidos de dissolução, sendo mais completa do que com tintas à base de água de solventes. A tinta à base de água com ácido de dissolução, contém diversos componentes, alguns dos quais, 2-butoxi-etanol, de fácil absorção através da pele, mostrando propriedades danificadoras da medula óssea, células do sangue, rins e fígado. Como já foi referido anteriormente, estas tintas possuem metais, tais como o alumínio, amplamente utilizado em tinta para automóveis. Outrora eram metais mais pesados os selecionados, contudo a questão ambiental e saúde estudada levou à proibição da sua utilização.

Durante a pintura por pulverização, a área de maior exposição é as mãos, apresentado menor exposição quando comparado com o cenário de enchimento e limpeza da pistola. Devendo-se ao facto de esta ser feita numa cabine fechada e com escape. Durante a limpeza da pistola a principal zona alvo é as mãos, não obstante, há projeção de salpicos para outras zonas. Já no enchimento da pistola, as mãos são a única zona alvo do corpo (Delgado et al. 2004)

Na seguinte figura é mostrado uma pintura de automóvel típica.

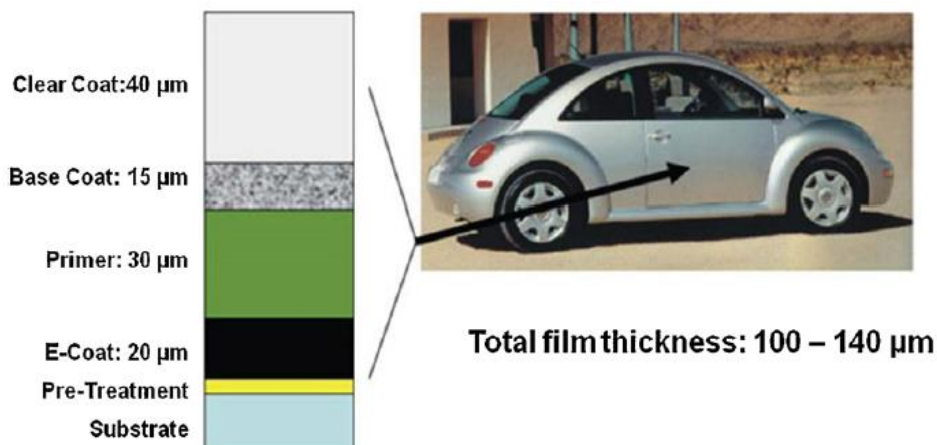


Figura 30: Pintura de automóvel típica (Domnick et al. 2011).

A indústria automóvel usa a capacidade computacional para simular todo o processo de pintura de um automóvel. Desde o mergulho do veículo para a zincagem, subseqüentes camadas de pintura, secagem e a cura. Permite verificar falhas, tornando o projeto extremamente caros. Um dos processos com maior evidência é a secagem, centrando-se na presença de água nas camadas, processo principal pela ótima cura. A secagem é responsável pela qualidade do filme final.

O revestimento final só é aplicado quando as camadas adjacentes estão secas. Após a aplicação do verniz há um novo processo de secagem denominado de cozedura, possibilitando uma ligação permanente entre o conjunto (base e revestimento), este processo é executado a 140°C. É muito importante para a qualidade da espessura do verniz, por exemplo para um processo de secagem rápido. No que toca à modelação esta é dividida em duas partes, um é a transferência de calor em objetos 3D complexos e a outra é a modelação do processo de evaporação de uma película fina de água. Ambas as partes são amplamente estudadas com recurso ao programa de CFD Ansys Fluent. Contudo esta capacidade de simulação do efeito é limitado pela velocidade computacional, devido à complexidade da malha superficial. Até agora, os modelos apenas são realizados à pintura do modelo (Domnick et al. 2011).

Em caso de acidentes de viação, a tinta representa um meio preponderante nas investigações. Os investigadores através da recolha quer de fragmentos da estrada ou até nas roupas das vítimas, podem comparar com tintas originais de cada veículo (Trzcinska et al. 2013). Contudo, é necessário preencher a lacuna quanto à morfologia e composição química das tintas. Com o emprego de diferentes técnicas de microscópica ótica é possível definir a cor, textura da superfície e a sequênciacamadas. Uma outra técnica de análise é a espectrometria de infravermelho, permitindo determinar os agentes ligantes e os principais pigmentos inorgânicos e os agentes de enchimento. Os pigmentos inorgânicos podem ser identificados com base no teor elementar da amostra através do método de raios-X, por exemplo o microscópio eletrónico de varrimento (SEM). Permitindo ainda informação relativa ao ligante polimérico. Para a comparação de materiais poliméricos como tintas por determinação dos seus componentes, em

investigações forenses, Py-GC/MS provam ser úteis para inúmeras aplicações. Py-GC/MS é um método analítico mais sensível, pirólise-GC. Usado para caracterizar e comparar materiais de polímero por determinação dos seus componentes (Zieba-Palus et al. 2008).

Uma outra técnica de comparação de cores é através de visível micro espectrometria (Vis-MSP). É uma técnica utilizada através da medição direta sobre a cor. Cada amostra é medida no modo reflexão, usando um feixe de luz incidente sobre a superfície perpendicularmente. A incidência dá-se sobre o topo da amostra e numa secção transversal. Contudo, os espectros de Raman, são muito utilizados como finalidade de detetar a composição dos pigmentos da amostra. Um dos resultados a que os autores chegaram foi o facto da discricção das tintas dependerem apenas da morfologia da camada de tinta. Ou seja, o tamanho, a orientação, a forma e a distribuição dos grãos do pigmento numa resina de tinta (Trzcinska et al. 2013).

A exposição a uma concentração baixa ou mesmo moderada de solventes orgânicos podem causar sintomas, tais como tonturas e dores de cabeça. Existem diretrizes impondo limites a várias substâncias químicas e agentes físicos, presentes no local de trabalho. Por exemplo o Tolueno (metil benzono) e xileno (dimetil benzeno), recorrentes em ambientes industriais. Quando absorvidos pelo corpo estes dois agentes químicos, são expelidos pela urina, apesar de passarem por vários passos de alterações químicas. Para além da ingestão respiratória, a absorção através da pele, contudo a absorção através da pele não é contabilizada pelos limites impostos. Um dos quais é reconhecido como sendo absorvido pela pele é o N-dimetilformamida ((CH₃)₂NC(O)H).

Apesar da resistência natural da pele na absorção de solventes orgânicos, em caso de feridas, não existe qualquer barreira natural. O surgimento de eczema por exemplo nas mãos, é a incidência muito elevada, originando desordem na pele (Hino et al. 2008).

As tintas empregues em automóveis, para além das propriedades anteriormente referidas, como térmicas, elétricas e mecânicas, surgem agora na aplicação de nanotubos de carbono (CNT). Com o recurso aos CNT, introduzindo-as nas matrizes do material a aplicar, obtém-se uma melhoria das suas propriedades globais, nomeadamente a resistência mecânica e a degradação. Os CNT de parede simples (SWCNTs), possuem um comprimento de 10 a 20 µm. Por outro lado, através da utilização de uma tinta acrílica (Flex Acrylic), com composição de tolueno, resina acrílica, xileno e compostos aromáticos. É usado também um ultra-som para efeitos de homogeneização. Depois de adicionar 0,05 g de SWCNTs a 30 ml de ácido sulfúrico é colocado no ultra-som durante 12 horas em atmosfera controlada de azoto. Findada esta etapa, segue-se a adição de anilina (4-aminopiridina 1,1 g; ácido 5-aminoisophthalic 2,43 g; p-anisidina 1,65 g), repetindo a agitação por mais 30 minutos. É adicionado peróxido de t-butilo (1,2 ml) e sulfito de sódio (0,92 g) para formar diazónio-arilo.

Esta agregação com CNT origina uniões formadas por agentes de ligação cruzada, devido à interação supramoleculares dos SWCNTs. No caso de SWCNTs com ácido aminoisophthalic, apresentam ligações de vários CNT. Permitindo uma vantagem na produção de uma rede

estrutural maior. Devido ao aumento de tensão na superfície do CNT, origina anéis ou arcos da p-anisidina-SWCNTs. Devendo-se à atribuição ao grupo metoxi (-O-CH₃) no anel de benzeno. Este efeito é benéfico para a resistência das tintas. Através da introdução de SWCNTs estes trazem uma maior resistência da degradação pelo fluxo de elétrons a 30 KV em cerca de 500 % quando comparadas com tintas sem SWCNTs. Estes também influenciam a resultante da cor, pois estes posicionam-se verticalmente na superfície. Esta introdução melhora homogeneidade da matriz da tinta, dissipação térmica, probabilidade de inibição na degradação solar, entre outras (Lucas Flores et al. 2013).

Um dos pigmentos branco mais utilizado no mundo é o Titânia, com uma produção anual de 5 milhões de toneladas. O pigmento Titânia tem uma ampla utilização, não estando confinado a tintas, cerca de 60 % do seu uso, passando por plásticos, cosméticos, papel, indústria farmacêutica, entre outras. O seu interesse aumentou com a imposição de normas quanto ao uso de solventes orgânicos em tintas. O aparecimento de tintas à base de água, vem colmatar essa deficiência. Contudo, pontos críticos são acrescentados, tais como a dispersão dos pigmentos, estabilidade, entre outras. Durante o processo de secagem, há evaporação de água, ou seja, esta evaporação faz com que haja uma diminuição da polaridade. Resultando num estado ionizado de um dispersante não iônico poderá ser mantido, perda de estabilidade e o brilho. Afetando a qualidade, através da agregação de pigmentos. Os dispersantes não-iônicos são sensíveis à alteração do pH ou de força iônica.

No caso dos dispersantes poliméricos, estes proporcionam uma estabilidade electroestática, estética, através da inibição dos agregados de pigmento. Geralmente, as tintas à base de água apresentam menor brilho do que as tintas à base de solventes. O brilho é influenciado pela interação da luz com o filme. Este varia de acordo com o grau de reflexão. O ângulo de reflexão, é o ângulo em que a luz refletida é igual ao ângulo do feixe e luz incidente. À medida que a película contrai com a perda de água, originando irregularidades devido às partículas de pigmento. Ocasionalmente uma menor luz refletida pela superfície (Farrokhpay et al. 2006).

2.3.4. Membrana de tubarão

Nestes últimos anos a natação atingiu um novo patamar, quer de vencedores, recordes ultrapassados, entre outros (De-yuan et al. 2011). O corpo de um nadador ao se deslocar na água sofre uma força de desaceleração conhecida como resistência. Qualquer que seja o estilo de natação, por exemplo estilo livre, bruços, costas ou borboleta, a hidrodinâmica desempenha um papel preponderante na natação. Estima-se que mais de 90 % da potência gerada pelo nadador é despendida para ultrapassar a resistência hidrodinâmica. Esta resistência pode ser dividida em três componentes, a resistência da onda, a forma da resistência e a pele resistência de fricção. Quanto à resistência das ondas, este está associado ao trabalho necessário para gerar ondas. Quanto à forma da resistência, isto é, a resistência ao movimento devido à forma do corpo. Por último a pele e fricção é a resistência ao movimento, devido à área do corpo com

a água, ou seja área molhada. Estas três componentes dependem da própria velocidade com que o nadador progride na água, o seu comprimento, estilo e a sua forma (Moria et al. 2011). A quebra de recordes é ampla parte deve-se ao aparecimento de novos fatos de natação. Estes são mais leves, com menor absorção de água quando comparados com os de poliamida-elastano e acima de tudo a redução drástica do coeficiente de atrito. Este fato é um desenvolvimento do fato de banho tradicional de praia, para um alto desempenho. O desenvolvimento passa pela redução da resistência com a água e aumentar o deslize do nadador pela água (De-yuan et al. 2011).

O desporto de natação tem um caminho longo e cheio de tecnologias, desde a utilização de fato de banho quer parciais ou mesmo totais, passando pelos diversos materiais, lã, flanelas, sedas, nylon e a lycra o mais famoso introduzido em 1990 (Moria et al. 2010). Desde os primórdios tempos do desporto aquático que houve controvérsia em torno do uso da tecnologia do fato de banho. A utilização de tecidos seda, em vez dos tradicionais tecidos de lã, trouxe uma menor absorção de água e uma diminuição deste, dando sem dúvida uma vantagem. Os fatos de natação têm aumentado a cobertura do corpo, graças a novos tecidos. Para fatos de homem o “Jammer” (do joelho até ao umbigo), “Leg Skin” (do tornozelo até ao umbigo), e o de corpo inteiro. Para as mulheres o “Knee Suit” (dos joelhos aos ombros), e de corpo inteiro (Foster et al. 2012).

Só na década de 2000 é que este desporto é impulsionada, através da *Speedo*, com o seu fato de banho de corpo inteiro o “Swimsuit Fastskin”, com inspiração no padrão da pele de tubarão, imitando os sulcos em forma de V. Este material é capaz de reduzir a resistência aerodinâmica e aumentar a flutuabilidade, conferindo uma vantagem competitiva (Moria et al. 2010). Conferindo excelentes propriedades de resistência microbiana, o que se torna mais uma vantagem encorajadora, para futuros projetos (Liu & Li 2012).

Os projetos encontram inspiração na natureza viva, através da engenharia inversa da flora e fauna como forma de resolução de desafios técnicos. A natureza viva utiliza recurso de forma eficiente. Desde muito cedo que se tem vindo a observar com muita atenção às estruturas desses materiais. Estas lições dadas pela natureza, estão a servir como inspiração para projetos inovadores intitulados de bio-inspirados (Bixler & Bhushan 2013). Existem exemplos abundantes de estruturas, materiais e superfícies, através do seu estudo como compreensão do princípio básico, para um posterior desenvolvimento em aplicações técnicas fascinantes. O termo biomimético, significa aprendizagem com a natureza, como catapulta para projetos técnicos independentes (Liu & Li 2012). Por exemplo, barcos inspirados na baixa resistência dos golfinhos e tubarões, a auto-limpeza de janelas inspiradas na folha de lótus hidrofóbicas e robôs para escalar paredes inspirados nas patas adesivas da lagartixa (Bixler & Bhushan 2013). Superfícies hidrofóbicas possuem propriedades fabulosas, como a auto-limpeza, propriedades anti-incrustantes, repelência à água e anti-corrosão, têm um impacto significativo em muitos campos de pesquisas científicas e aplicações práticas. O efeito de lótus, com propriedades de auto-limpeza, de anti-poluição e a sua maior capacidade, ser super-hidrofóbico. A superfície

da folha de lótus é revestida com uma cera e papilas em micro escala, daí a origem de auto-limpeza. Insetos como cigarras e térmitas, possuem a mesma propriedade. (Zhao et al. 2014).

O tubarão como inspiração, com uma superfície funcional única, capacidade de redução do atrito, resistência ao desgaste, a capacidade de auto limpeza, entre outras. É um dos animais mais rápidos, com multi micro sulcos na superfície, escamas de pele de tubarão (figura 31). Na década de 1970, Michael na NASA Langley Research Center, descobriu que as superfícies com nervuras pode efetivamente reduzir o atrito parede, abrindo novas formas de tecnologia de redução da resistência para a humanidade (De-yuan et al. 2011).

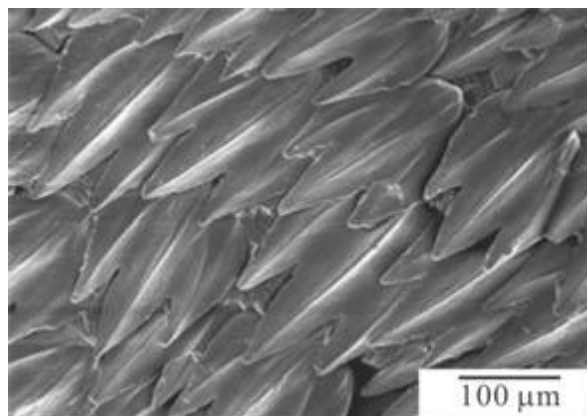


Figura 31: Microscopia eletrônica de varredura (SEM), mostrando a pele de tubarão (De-yuan et al. 2011).

As pequenas estrias ou micro sulcos estão perfeitamente alinhadas com a direção do escoamento. A utilização de micro sulcos em forma de V é responsável pela redução em 8 % do atrito, em dados experimentais comparando com diferentes superfícies (Chen et al. 2014). Outras formas foram postas à prova, como exemplo a utilização de micro triângulos equiláteros de base 0,11 mm, permitindo uma redução na resistência da ordem de 5 a 7% no escoamento turbulento de água totalmente desenvolvido (LIU et al. 1990).

Quando comparado superfícies lisas com superfícies capacitadas de micro ranhuras, estas últimas são responsáveis pela redução da resistência devido à restrição do movimento no sentido do comprimento dos vórtices longitudinais. Diversas formas e diversas variedades de superfícies são apresentadas como possíveis soluções na diminuição da resistência. Contudo a que se destacou, foi a utilização de uma superfície ajustável com sulcos laminares longitudinais e em forma de vale, este sistema é capaz de uma benesse máxima de 9,9 % na resistência do fluido. Praticamente todas as superfícies em forma de sulco, tem propriedade de redução da resistência, sendo principalmente centradas na bidimensionalidade e de secção simples. Estas formas podem ser, por exemplo, dentes em forma de serra, lâmina, em recorte, onde os seus benefícios na redução da resistência não ultrapassa os 10 %. A análise à pele de tubarão, quanto à velocidade esta realmente beneficia este animal com uma vantagem média de 12,3 %, podendo ser atingindo os 20 % (Chen et al. 2014).

O fato de natação apresentado pela Speedo de corpo inteiro, contém painéis de poliuretano que estão estrategicamente localizado no fato, para proporcionar a redução da resistência. Só em 2009 a concorrência apresentou um fato com as mesmas capacidades, a Arena e a Jaked, onde os seus fatos eram integralmente em poliuretano. Esta tecnologia, nos meios de comunicação foi apelidada de “doping tecnológico” (Foster et al. 2012).

Desta feita, esta nova tecnologia, arma no combate aos recordes, mais de 130 nadadores quebraram-nos. A partir de 2008 até 2009, em especial o ano de 2009, em Roma no 13º Campeonato do Mundo da FINA (Federação Internacional de Natação), com 43 recordes quebrados, mais que qualquer outro Campeonato ou mesmo em Jogos Olímpicos (figura 32). Este aumento repentino de desempenho a entidade responsável FINA, impôs a proibição a esta tecnologia a partir de janeiro de 2010, com implicações para o surgimento de novos produtos no futuro, tais como, a material do fato de banho é limitado a tecidos respiráveis, espessura do material é limitado a 1 mm e é limitado a flutuabilidade do fato a níveis definidos (Gianferri et al. 2014).

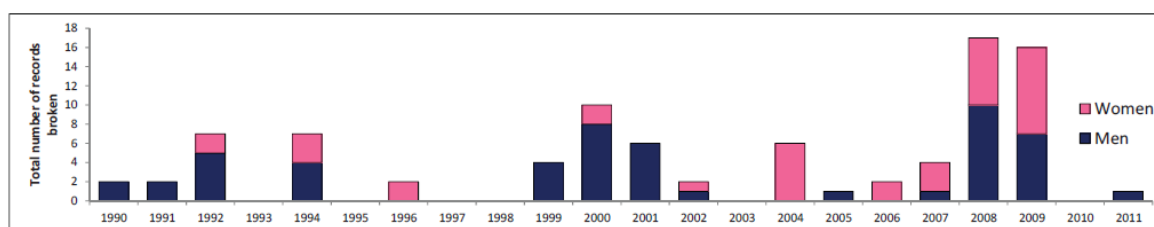


Figura 32: Número de recordes mundiais, durante um período de homens e mulheres para o estilo livre, desde 1990 (Foster et al. 2012)

Contudo esta tecnologia, a propriedade fundamental é a redução da resistência hidrodinâmica, característica que pode melhorar significativamente o desempenho global da natação, mas os mecanismos de como este resultado é alcançado não é tao evidente. De sublinhar que o desenho do fato de natação, é projetado para conter e comprimir o corpo do nadador proporcionando um aumento da velocidade e diminuição da resistência na água. Isto deve-se ao facto dos tecidos serem à base de lycra. A redução da resistência, é alcançada pela criação de turbulência na superfície do fato e pela menor absorção de água pelo tecido. O primeiro efeito é devido às características físicas do processo, com a imitação da pele de tubarão, através da presença de um pequeno dente na superfície, por outro lado, a segunda característica, envolve a sua permeabilidade do fato (Gianferri et al. 2014).

Através da simulação numérica como importante ferramenta no estudo do escoamento turbulento. O mecanismo das ranhuras da superfície na redução da resistência, tem sido um dos temas mais badalados da atualidade. Contudo, as simulações apenas se prendem a uma ranhura simples, como o sulco triangular, sulco semicircular e outras ranhuras retas simples. Nas simulações da bibliografia, não se estão a utilizar os mesmos parâmetros que a verdadeira pele de tubarão, ou seja, não é considerado a influência do ângulo de ataque (De-yuan et al. 2011).

São ensaiados escoamentos turbulentos em superfícies equipadas com estrias, com pequena distância, resultando na redução da resistência viscosa. Há um posicionamento dos vórtices acima da superfície molhada e, apenas os turbilhões é que ficam expostos às estrias (Zhao et al. 2012).

Apesar de avanços significativos para obtenção da biomimética da pele de tubarão, ainda se avizinha um caminho árduo até se obter tal morfologia. Avanços mais significativos, foram a simplificação ou ampliação das escamas ou micro sulcos do tubarão, como forma de semelhança à pele biomimética do tubarão. Portanto, o método de fabricação da pele biomimética de tubarão, ainda atravessa dificuldades na obtenção de grandes áreas contínuas da superfície. Isto é o alvo que se aneia alcançar, ou seja, atendendo aos pedidos urgentes para a poupança de energia, torna-se necessário uma tecnologia de alto desempenho para a função (Chen et al. 2014), devido à propagação da crise energética (Zhao et al. 2012). Muito se aneia pelo uso destas tecnologias para a redução da resistência, para aplicação em navios, aeronaves, entre outras, cada vez mais desempenham um papel importante como abordagem eficaz para a economia de energia. Embora muitos métodos foram criados e aprovados no domínio de redução de atrito, todos eles têm algumas limitações na aplicação de engenharia (Zhao et al. 2012). Afim da resolução do problema, para a produção de grandes estruturas, novas abordagens de revestimento bio replicação são propostos com base de ultra violeta (UV) rápido polímero curável. Na figura seguinte é ilustrado o mecanismo de revestimento e a instrumentação para o revestimento, tendo em foco a pele de tubarão real.

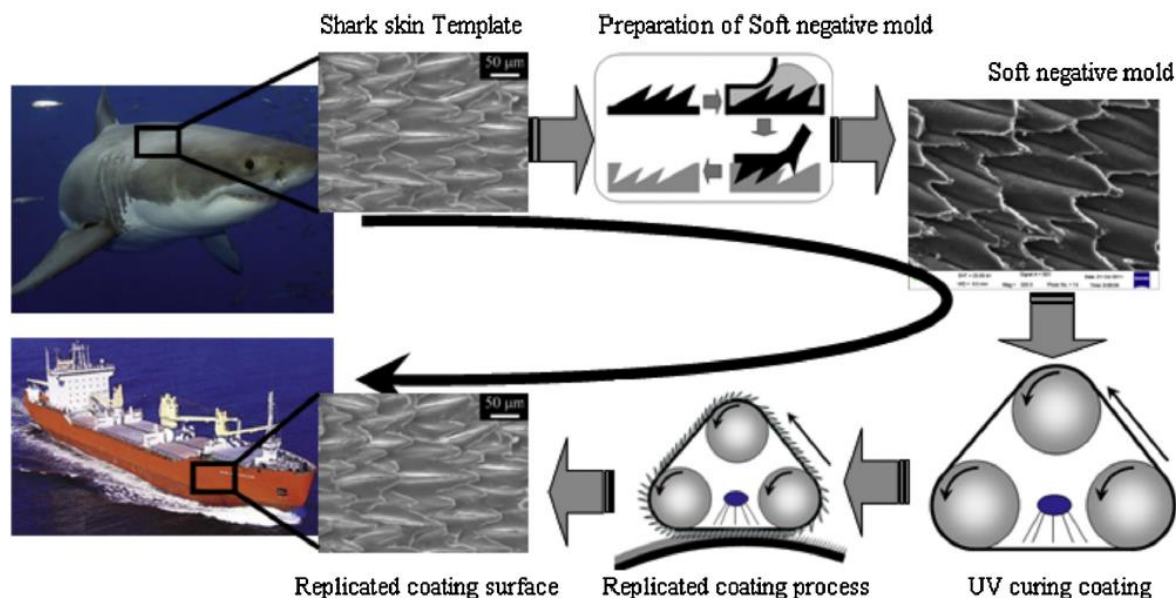


Figura 33: Esquema de função natural tecnologia de revestimento morfologia da superfície (Chen et al. 2014).

Para além do pré-tratamento da pele de tubarão, a precisão da replicação é feita por comparação clara entre o modelo da pele de tubarão e a superfície de replicação de revestimento. Como forma de avaliação ao seu excelente desempenho para a redução da

resistência e também como efeito anti-incrustantes dos revestimentos bio-replicados, estes foram testados em túneis de água e em lagos, obtendo o grau de satisfação (Chen et al. 2014).

A problemática da redução do atrito da pele não é única, ou seja, existe a preocupação da contaminação biológica (incrustação biológica). A resistência é uma força resistente do fluido imposto a um objeto em qualquer escoamento de canal aberto ou fechado. A incrustação biológica é a acumulação de matéria biológica indesejada, em parte criados por micro organismos, incrustações em grade escala produzido por macro organismos. Por outro lado, a incrustação inorgânica pode ocorrer como resultado de depósitos de corrosão, cristalização, de partículas em suspensão, óleos e gelo. É de grande importância a obtenção de superfícies de baixa resistência, que muitas vezes equivale a uma menor possibilidade de incrustação e uma subsequente melhor conservação da energia, importante em cateteres hospitalares, em cascos de navios ou mesmo em oleodutos.

Existe a crença, que no tubarão a sua pele ser anti-incrustação devido à sua microtextura dos sulcos, textura áspera (Liu & Li 2012), à flexão das escamas e a uma camada de mucosa. As escamas são apelidadas de dentículos dérmicos, com semelhança a dentes (Zhao et al. 2012), estão interligados para formar uma superfície lisa não-natural (Liu & Li 2012). Sendo cobertos de estrias, orientadas paralelamente à direção do deslocamento. A função destas estrias é a levantar e fixar os vórtices do fluido, que ocorrem naturalmente na subcamada viscosa. Em análise mais pormenorizada, o vórtice do fluido apenas está em contato com as pontas das rugosidades, a sustentação origina uma redução na tensão de corte, através da diminuição de área total da superfície. O motivo para a redução na resistência, salientado no artigo de (Zhao et al. 2012), a microestrutura das estrias altera a distribuição do campo de escoamento e reduz a tensão de corte (Bixler & Bhushan 2013). A tensão de corte, geralmente elevada, próxima da parede devido à condição do não escorregamento no campo do escoamento (Jin & Herwig 2014). Com o aumento do escoamento na pele, reduz o tempo de eliminação de microrganismos, ou seja, provendo uma lavagem. Devido às suas características a pele de tubarão também é benéfica na redução da resistência noutros fluidos, por exemplo o ar, onde existem vórtices turbulentos (Bixler & Bhushan 2013).

Em termos termodinâmicos as perdas num escoamento são devidos a processos irreversíveis no escoamento em torno de corpo ou até dentro de canais. Em análise, os processos irreversíveis poderão ser completados por alguns conceitos termodinâmicos, ou seja, noções que avaliem o valor da energia em função da sua conversibilidade de uma forma para outra. Os conceitos mostram a geração de entropia, ao qual é possível a determinação das perdas no escoamento através de canais com paredes lisas e ásperas. A exergia do sistema ou alto valor de anergia, pode-se definir a energia através do qual o trabalho teórico máximo é obtido. A exergia pode ser perdida, mas não poderá ser produzida, como indica a segunda Lei da termodinâmica. Num processo reversível a exergia é mantida, enquanto, que a irreversibilidade, por exemplo, como perdas de um fluxo ou campo de temperaturas, levando a uma mitigação dessa exergia. O

Teorema de Gouy Stodola, faz a conexão entre a geração da entropia e as perdas de exergia. O Teorema apresenta a exergia perdida correspondente ao produto da geração de entropia e a temperatura ambiente (Jin & Herwig 2014).

A pele e a sua carcaça de tubarão são descartadas, ou até como subprodutos de baixo valor para o mercado, dando asas a novos produtos, com aplicações diversas, na medicina por exemplo. Este material contribui com 30 % do peso total do peixe. Estudos mostram que os peixes cartilagosos incluindo os tubarões, possuem um teor elevado de colagénio, dando origem a gelatina (Shyni et al. 2014). A pele de tubarão é uma das fontes potenciais para a gelatina (Kittiphattanabawon et al. 2012).

A gelatina extraída da pele de atum ou peixes de águas quentes, apresentam melhores propriedades funcionais que os demais, por exemplo em peixes de água doce que apresentam um alto rendimento da gelatina ou mesmo de águas mais frias. As propriedades físico-químicas das gelatinas extraídas da pele de tubarão cão (*Scoliodon Sorrokowah*), do atum-bonito (*Katsuwonus Pelamis*), e rohu (*Labeo Rohita*) foram quantificadas, obtendo 19.7, 17.2 e 11.3 % de gelatina (206 g, 117 g e 124 g). A gelatina do tubarão cão possui melhor propriedades que as demais gelatinas, especialmente quanto ao ponto de fusão, capacidade de absorção de água, peso molecular, odor, cor, clareza e propriedades espumantes. Através da análise de aminoácidos mostra que o conteúdo de hidroxiprolina da gelatina da pele do tubarão é mais elevado, em comparação com restantes animais (Shyni et al. 2014).

A procura incessante de antioxidantes, para a prevenção da tensão oxidativa e os seus efeitos destrutivos, é o principal responsável por uma variedade de doenças, como a diabetes, o envelhecimento, cancro e a neuro degeneração. Os radicais livres, incluem espécies de oxigénio ativo (ROS), produzidos nos organismos aeróbicos, durante o metabolismo do oxigénio. A sua produção é indispensável à vida, através da utilização de enzimas antioxidantes celulares é possível a remoção contínua de ROS. Com o recurso a superóxidos dismutase (SOD), onde catalisa a dismutação do superóxido em oxigénio e peróxido de hidrogénio, a glutathione peroxidase (GPx), onde a sua função é reduzir os lípidos hidroperóxidos aos álcoois por exemplo, catalase (CAT), entre outras. A existência de antioxidantes sintéticos, faz aumentar a preocupação da sua utilização relativas aos riscos potenciais na saúde, como o hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolueno (BHT) e tertbutylhydroquinone (TBHQ). A urgente procura por antioxidantes, faz com que se olhe para outros patamares, por exemplo, para a natureza, na busca por antioxidantes naturais.

Com o subterfúgio a peptídeos biologicamente ativos, de origem de subprodutos marinhos ricos em proteínas dietéticas. A proveniência de diferentes fontes de proteínas, origina diferentes propriedades antioxidantes de peptídeos. A proveniência passa pelo músculo da carpa capim ou prateada, espinha dorsal do atum, gelatina de lula ou linguado, sendo estes últimos os que apresentam maior atividade antioxidante, etc. O recurso a gelatinas é amplamente aplicado

como ingredientes para a indústria alimentar na melhoria das suas propriedades. A gelatina é um material macromolecular natural extraído dos ossos, pele e de tecidos ligados.

A gelatina da pele do tubarão de galha preta possui excelentes propriedades antioxidantes e atividades inibidoras. Por outro lado, o colagénio de tubarão é biologicamente seguro. O tubarão azul é um dos possíveis candidatos à produção de gelatina através da sua pele com propriedades antioxidantes (Weng et al. 2014).

2.3.5. Fato de poliuretano

O uso de fatos de natação com propriedades de redução da resistência, como a membrana de tubarão e também o poliuretano. Responsáveis por novos recordes no Campeonato do Mundial de Natação em 2009 em quase todas as disciplinas. Partridge em 2011, refere no seu artigo, que o uso de “super fatos de natação” influenciou os resultados da competição. A influência é injusta, ou seja, nem todos os atletas tiveram acesso a esta tecnologia. No entanto, esta tecnologia irá influenciar os resultados no tempo, ponto-chave, devido aos concorrentes estarem focados nesses resultados. Com a atual proibição dos fatos e com o propósito de manter a equivalência na natação, os resultados atingidos no Campeonato do Mundo de 2009 deveria ser igualmente eliminado (Partridge 2011).

O fato de natação em poliuretano obteve grande relevo, tal como a membrana de tubarão, nos Campeonatos Mundiais de 2009, realizados em Roma, onde 43 recordes foram quebrados (Neiva et al. 2011). Contudo, mais de 130 recordes mundiais foram quebrados a partir de 2008 (Gianferri et al. 2014).

O fato de natação de poliuretano são produzidos parcialmente ou inteiramente com polímeros industriais. Na história do desporto aquático, nunca se viu tal sucedido, até o aparecimento dos fatos de natação de borracha como foram apelidados pelos media, explicação para o aumento do desempenho. Este material é caracterizado pelo seu peso ultra leve, hidrofobicidade, redução da vibração através da compressão do corpo, flutuabilidade, entre outras.

No entanto, devido à diminuição da área frontal, por parte da compressão do corpo, é apontado como uma razão para a redução da resistência à água, sem que haja limitação dos movimentos. Contudo, é de salientar o facto, com a compactação do corpo, elimina-se as bolsas de ar, entre o atleta e a água. O uso de fato completo (corpo inteiro) poderia reduzir a resistência total, como a pressão, onda e fricção. A resistência total está situado entre os 10 e os 15 % com a utilização deste tipo de fatos. No que toca à flutuabilidade, a média de sustentação hidrostática é mais pequena no uso de fatos de poliuretano, devido, principalmente à redução do volume do corpo.

Em 2009, os nadadores, preferiram utilizar maioritariamente dois fatos de poliuretano, o Powerskin X-Glide Full® e o Jaked01 Full® (Neiva et al. 2011).

Em competição de natação, os fatos tornam-se cada vez mais importantes (Van Geer et al. 2012). Uma aplicação dos fatos é na monitorização dos dados vitais do atleta, usando elétrodos

têxteis, ou seja, empregando sensores. Sensores capazes de medir vários sinais fisiológicos e biomecânicos, por exemplo ECG (atividade eletrocardiográfica) e análise do movimento respiratório. A monitorização do atleta traz alguns desafios, elétrodos em contato com água ou mesmo o alongamento das fibras na água, reduz o sinal destes. Com aplicação de elétrodos de têxtil é recomendado o isolamento elétrico destes, sendo muito vantajoso o seu isolamento. No entanto, a presença de água entre o elétrodo e a pele é favorável, como efeito de um gel de eletrolítico (Silva et al. 2009).

Uma tecnologia muito recorrente é o digitalizador 3D, dando mais informação que os meios tradicionais de medida. O digitalizador 3D permite encontrar uma relação entre a forma do corpo e a resistência, fazendo-se a medição antropométrica de nadadores femininos, vestidos com fatos de natação diferentes. Quer o fato e o nadador foram testados no desempenho em água e é provado que a deformação do corpo influencia o desempenho da natação (figura 34). Contudo, a deformação do corpo não é o único fator que influencia a resistência, ou seja, a superfície do fato participa na redução da resistência.

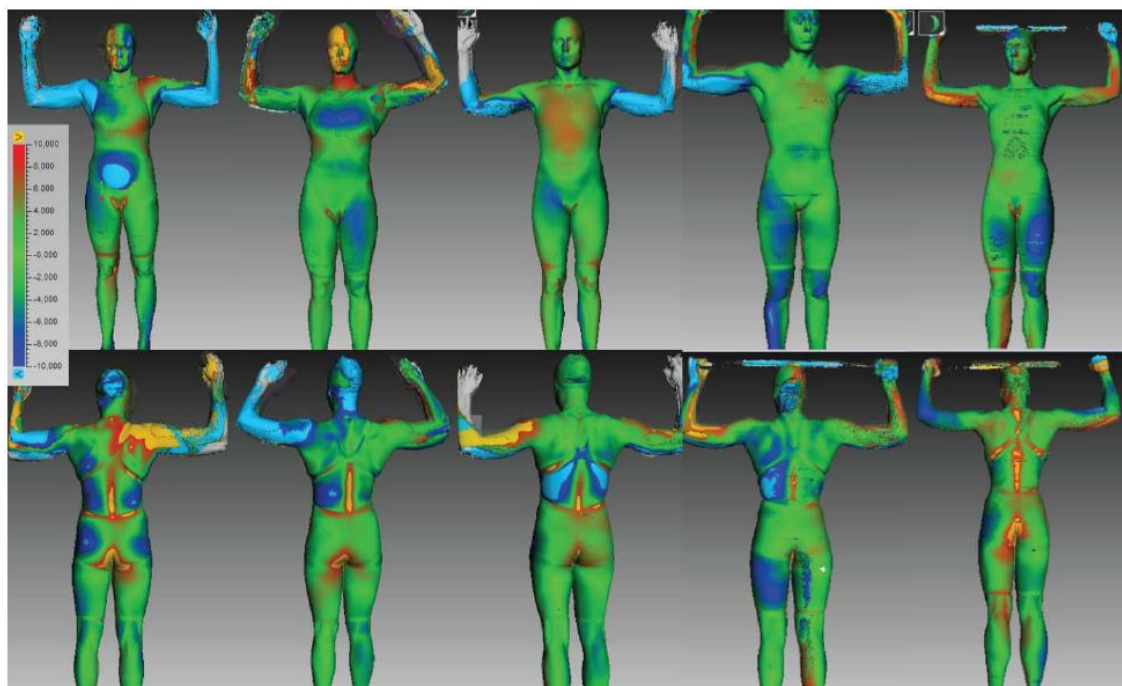


Figura 34: Digitalizador 3D de fatos de natação com melhor desempenho e respetivos atletas 1, 3, 4, 5, 6 (Van Geer et al. 2012).

Na Figura 34 anterior é possível observar as áreas de compressão (azul) estas zonas são caracterizadas por molas, esta cor salienta a zona que tem maior efeito sobre a resistência total. A representação do atleta 2 é excluída devido ao facto de esta não ser preciso o suficiente. Por outro lado, na zona traseira do atleta esta obteve melhores resultados com fatos fechados na zona das costas. Em fatos abertos nas costas, estes tendem a empurrar a gordura para as uniões do fato, resultando numa curvatura. De salientar o facto de os resultados obtidos serem comparados com o fato de referência (Van Geer et al. 2012).

Os fatos de poliamida-elastano, à base de lycra, para além de todas as características anteriormente referidas, possuem também um extremamente reduzido coeficiente de atrito com a água. A resistência reduzida é um dos fatores mais relevantes quando comparados com os fatos de natação antigos. O fato é o desenvolvimento de tecidos de moda de praia com um grau de eficiência, por exemplo no deslizamento do nadador pela água com a reduzida resistência. Isto, é devido à criação de turbulência na superfície do fato, com a conjugação de uma menor absorção de água por parte do tecido. As limitações impostas a partir de janeiro de 2010, incluem, tecidos respiráveis, espessura do fato a 1 milímetro e com flutuabilidade de níveis definidos.

A forma de análise da interação das moléculas da água com a matriz polimérica é uma propriedade importante na compreensão do material, ou seja, relação com as interações entre o fluido e a matriz que constitui o tecido. Esta relação é possível através da ferramenta de análise TD NMR (Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear). O TD NMR permite a avaliação das características mecânicas dos tecidos, ou seja, relaxamento longitudinal e transversal. Com a sensibilidade ao movimento das moléculas num determinado tempo, é possível a sua medição e a respetiva análise, a interação com a superfície e seus poros, ou através de transferência difusivas, provoca uma redução nos tempos. No entanto, as matrizes deste tipo de tecido, quando utilizado por atletas, são esticados, permitindo a modificação da interação com as moléculas da água (Gianferri et al. 2014).

Em certos estudos da fisionomia do corpo, não é considerado o volume do peito em atletas do sexo feminino em diferentes estilos de natação. No entanto, é necessário o estudo desse conjunto durante uma prova. Uma das formas de minimização do volume do peito é a utilização de suportes indicados para a prática do estilo em questão. Para o teste são utilizados seis nadadores do sexo feminino, de estilo *Crawl*, onde nadaram sob uma calha de natação, com a utilização de três suportes de peito diferentes. Com o recurso de câmaras de vídeo é possível o registo e a verificação do movimento quer do tronco ou mesmo do peito.

Os fatos de natação são ineficazes como forma adicional de suporte aos seios durante a natação. No entanto, o soutien desportivo, cumpre com os objetivos, de redução do deslocamento do peito (Mills et al. 2014).

Como já foi referido, o fato de natação é responsável pela redução da resistência hidrodinâmica. Neste seguimento Pendergast et al. em 2006, apresentam um artigo onde colocam em teste este tipo de fatos quantificando-os quando ao desempenho em água. O estudo faz referência à comparação de fatos de corpo completo sem que haja produção de turbulência e fatos idênticos em que a produção é gerada, quer nas costas, nádegas e peito. São utilizados 7 atletas de natação de cada género (masculinos e femininos), onde são rebocados numa piscina circular a uma velocidade de 0,4 a 2,2 m/s. Apesar das diferenças geométricas por parte dos atletas em estudo, colocando em causa a eficácia da turbulência e a sua posição.

A resistência total é reduzida em 11 a 12 %, através da turbulência de 13-16 %. Por outro lado, a resistência total é decomposta em D_{SF} (fritção), D_P (pressão) e D_W (onda), mecanismos

responsáveis pela redução da resistência total pela turbulência. Não houve qualquer significância no aumento da resistência da onda, no entanto, a resistência de pressão é responsável pela redução de 19 a 41 %, devido ao escoamento permanecer por mais tempo colado à superfície. Uma forma de reduzir a resistência por fricção é rapar os pêlos do corpo e pela produção de estrias ou turbilhões, responsável pela redução em 7 % (Pendergast et al. 2006).

Ohkuwa et al. em 2002 apresentam um estudo para o desempenho dos fatos de natação. Um nadador consome mais oxigénio na presença de roupa, quando comparado com fatos de natação tradicionais (lycra). Devido ao aumento da resistência com a água, este resulta num aumento do consumo de energia e numa dificuldade de movimentação. De facto um nadador quando lhe é substituído o fato de natação por roupas, este demonstra uma diminuição significativa. O estilo que mais se fez notar as diferenças de velocidade foi em bruços. A velocidade média do teste, vestidos com roupa diminui, por causa da distância percorrida e da frequência do teste. A diminuição quando comparado com o fato de banho foi de 39,1 % inferior. Esta bateria de testes fez provar que os fatos de natação influenciam o desempenho da natação, especialmente em longos cursos.

Os níveis de lactato no sangue é um bom indicador da queda de glicogénio dentro dos músculos. Os nadadores equipados com roupas tradicionais apresentam uma concentração de lactato no sangue expressivamente menor, após o teste. Estranhamente, em estilo bruços não houve qualquer diferença significativa nos níveis de lactato no sangue, para ambos os trajés, sugerindo que a queda de glicogénio é anulada. Os autores salientam o facto de os participantes equipados com roupa, executaram o teste a velocidades reduzidas. Em síntese, os autores, fazem uma relação entre os níveis de lactato no sangue e a velocidade ou frequência do teste por cada participante, $r=0,91$ e $p<0,001$.

Um outro aspeto é a intensidade do exercício, relação entre as concentrações de epinefrina e norepinefrina, ligados ao aumento da atividade simpatoadrenérgica. Os aumentos dos níveis de epinefrina e norepinefrina estão interligados ao aumento da concentração no lactato. Devido à diminuição dos níveis de adrenalina no plasma, em indivíduos trajados com roupas, estes apresentam uma concentração de lactato no sangue inferior.

Em suma, a resistência por parte da roupa com a água teve efeitos significativos sobre o desempenho, para além da natural limitação de movimento, as roupas podem reduzir a queda de glicogénio (Ohkuwa et al. 2002).

Um outro estudo é feito para comparar os efeitos em fatos de natação de última geração com fatos de natação convencionais (fatos de poliuretano). Os testes são realizados a velocidades similares numa calha para o efeito, com recurso a treze atletas de triatlo, utilizando ambos os fatos. Os autores deste estudo, tal como já foi referido anteriormente por outros autores, um atleta equipado com este tipo de fatos, é capaz de manter o seu corpo numa posição próxima do horizontal. Graças ao aumento da sustentação ou flutuabilidade, por outro lado, a força de resistência é reduzida. A melhoria no desempenho por parte destes fatos é de 3,2 a 10 % para

os 400 m, 800m, 1500m e entre outros. Proporcionando um menor consumo de energia para manter a mesma velocidade, ou seja, menor absorção de oxigênio (VO_2). Uma estratégia recorrente dos atletas de triatlo é a utilização de uma velocidade de natação de 60 a 80 % do $VO_{2\text{ máx}}$. A prova de triatlo como o nome indica, é constituído por três provas, natação, ciclismo e corrida. Assim, a utilização destes volumes de oxigênio permite que sobre energia para as restantes provas. Os testes serão realizados em duas provas com duração mínima de 5 minutos cada, uma a 60 % do $VO_{2\text{ máx}}$. e a outra a 80 % do $VO_{2\text{ máx}}$. Para além da quantificação do volume de oxigênio, é também quantificado a concentração de lactato no sangue, comprimento da braçada, percepção subjetiva ao esforço, entre outras.

Em sumula, os fatos de natação convencionais ou de “borracha” como são apelidados, produzem um acréscimo de 5,4 % de $VO_{2\text{ máx}}$. que o fato de natação de última geração. Contudo, a concentração de lactato no sangue não apresenta diferença entre ambos os fatos, o custo da energia de natação para o fato de natação convencional é inferior em cerca de 14,4 % para 60 % do volume e 7,5% para 80 % do volume máximo. Os resultados sugerem uma redução bruta de energia na parte da natação (Tomikawa et al. 2008).

Um fator que intrigava os utilizadores deste tipo de fatos era a resposta de termorregulação. Em 2007, Peeling e Landers, apresentam um estudo da resposta de termorregulação em atletas de triatlo. Portanto, o registo da temperatura é feito internamente por via oral (comprimido telemétrico) e através da pele com recurso a termístores. São testados dois tipos de fatos, o fato de natação convencional e um fato de competição (SPEEDSuit). Depois de cada prova, os atletas eram submetidos a colheita de sangue, medição da frequência cardíaca, concentração de lactato no sangue e classificação da percepção térmica.

Os valores médios de potência estão praticamente equivalentes entre ambos os fatos $289 \pm 13W$ para o SPEEDSuit e $288 \pm 14 W$. Os restantes valores estão igualmente próximos, para o SPEEDSuit a temperatura interna é de $38,65 \pm 0,27 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura da pele é de $34,30 \pm 0,71 \text{ }^\circ\text{C}$, concentração de lactato no sangue de $7,8 \pm 1,1 \text{ mmol L}^{-1}$, percepção térmica de 17 ± 1 . Para o fato de natação convencional, a temperatura interna é de $38,35 \pm 0,10 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura da pele é de $33,50 \pm 0,57 \text{ }^\circ\text{C}$, concentração de lactato no sangue de $7,1 \pm 0,9 \text{ mmol L}^{-1}$, percepção térmica de 17 ± 1 .

Apesar de os valores estarem próximos entre ambos os fatos, é de salientar a melhoria por parte do SPEEDSuit no desempenho, sem que seja afetada a regulação da temperatura durante a prova (Peeling & Landers 2007).

2.3.6. Cortiça

A cortiça (figura 35) é um material possível para aplicação neste projeto, devido às suas várias propriedades, tais como a flexibilidade, compressível, amortecedor de vibrações, densidade (240 kg/m^3), resistente a gases e líquidos, resistência térmica ($-180 \text{ }^\circ\text{C}$ a $110 \text{ }^\circ\text{C}$), ótimo isolante térmico e acústico (Sanchez-Saez et al. 2015), com uma condutividade térmica de $0,074 \text{ W/mK}$,

resistente à abrasão (Mounir et al. 2014), imputrescível e quimicamente inerte, impermeável (González-García et al. 2013), entre outras.



Figura 35: Colheita de cortiça, separação da casca do sobreiro.

O desafio atual é o desenvolvimento de matérias de uma forma sustentável, através de materiais menos poluentes, reciclando-os (Pereira et al. 2012). A cortiça, por ser de origem natural, reutilizável e biodegradável, pode ser considerado um material diferenciador. Atualmente, a cortiça, devido às propriedades que ostenta, leva a aplicações em diversos campos, tais como, a decoração, construção civil, lazer, aeronáutica, vestuário, entre outras (Oliveira et al. 2013). A Cortiça é uma matéria-prima renovável natural que vem sendo utilizada à séculos (Silva et al. 2005).

O sobreiro (*Quercus súber* L. nome botânico), pertencente à família Fagácea é um carvalho perene, que pode atingir uma altura média de 15-20 m. Esta espécie tem vida longa de 200 a 250 anos (González-García et al. 2013). No seu exterior possui uma casca espessa e franzida, de camada contínua, a cortiça. Esta dá ao sobreiro um relevo importante economicamente e ambientalmente (González-García et al. 2013). É composto por um agregado de células, de cerca de 42 milhões por centímetro cúbico, que têm cinco camadas da parede (Gil 2009). A casca ou cortiça é formado por um tecido elástico de bom isolamento térmico, impermeável e de baixa massa específica (Oliveira et al. 2013). A casca é composta por células mortas em paredes que são impermeáveis devido a um composto químico chamado suberina (González-García et al. 2013), constituído por 40 % de todo o material (Oliveira et al. 2013). Possui também lenhina, com uma concentração entre 19 e 22 %, polissacarídeos que variam entre 12 a 20 % em que comportam a celulose e a hemicelulose, substâncias extratáveis, entre 13 a 16 % como os cerídeos, taninos, entre outros e as cinzas de 1 a 3 % (Oliveira et al. 2013). A extração da cortiça ocorre, geralmente, uma vez de 9 a 14 anos, contudo a sua posição geográfica influencia essa ocorrência (González-García et al. 2013). É possível encontrar sobreiros na zona mediterrânea da Europa, como, Portugal (32 %), Espanha (27 %) e Itália (5 %) e no norte de Africa, Marrocos (14 %), Argélia (17 %), Tunísia (5 %) (Montero et al. 2014) e China (Silva et al.

2005) sendo uma árvore que se adapta a climas quentes e secos e em solos de baixa fertilidade (Montero et al. 2014). Esta árvore requer uma grande quantidade de luz solar, com uma incomum de escassez de chuva e alta humidade (Silva et al. 2005). No entanto após a sua extração uma nova casca inicia a sua formação (González-García et al. 2013).

Em Portugal, o sobreiro ocupa o terceiro lugar de florestação, cerca de 716 mil hectares. O Alentejo e o vale do Tejo, são as regiões mais produtivas, com 72 % e 21 % para cada região, representando 50 % da produção Mundial. Estes valores tem sofrido oscilação, dependendo de diversos fatores, tais como, ambientais e climáticos (González-García et al. 2013).

Referente à quantidade de desperdícios gerados durante a fabricação ou produção de rolhas, o seu valor ronda os 85%. Geralmente os produtos provenientes dos desperdícios da cortiça, como aparas de cortiça de menor qualidade, que se tornam impróprios para a fabricação de rolhas, são utilizados para a fabricação de granulados e aglomerados (Oliveira et al. 2013). A produção de rolhas de cortiça (rolhas naturais) só usa até um máximo de 25% da matéria-prima. Desta forma, novas aplicações, oriundas desses excedentes origina campos mais promissores da evolução da tecnologia (Gil 2009).

A indústria corticeira em Portugal está localizada principalmente no distrito de Aveiro e Setúbal, representado com 75 % e 12 %, respetivamente, no emprego para a indústria. A indústria corticeira é composta por 700 empresas e 12000 trabalhadores, que produzem 40 milhões de rolhas de cortiça por dia e muito outros produtos. Portugal absorve 66 % da produção de rolhas para a indústria vitivinícola (González-García et al. 2013).

Devido às suas propriedades, tais como o atrito, com características anti-derrapantes, é um excelente material para aplicação como revestimento de pavimentos por exemplo. Também como isolante térmico em geleiras, fogões (Gil 2009) e em foguetes da NASA (Silva Pereira et al. 2006), em isolamentos acústicos para submarinos, estúdios de gravação e motores de combustão (Gil 2009).

O sector da cortiça é iniciado a meados do século XVIII, na região da Catalunha (região a nordeste entre os Pirenéus e a Costa Brava). Devido à abundância da matéria-prima na região, e devido à existência de oficinas tradicionais, de pequena escala e número, é iniciado a fabricação de rolhas de cortiça. A produção parte para França, para produtores de vinho e champanhe (Rives et al. 2013). Porém, a indústria de produção de rolhas está cada vez mais em risco, com o surgimento de materiais substitutos como as rolhas sintéticas (Silva Pereira et al. 2006).

Uma aplicação da cortiça é no aquecimento aerodinâmico num veículo Aerocapture na desaceleração significativa numa só passagem na atmosfera de Marte. A manobra usa a resistência aerodinâmica, em vez da propulsão para a inserção em órbita. Desta forma, há uma redução substancial de combustível e no tempo do percurso, ou seja, menor velocidade à

chegada. Portanto, a necessidade de um sistema de proteção térmica (TPS) é urgente. Este sistema é à base de cortiça com diferentes formulações, material inovador, este material deverá suportar ambientes severos, permitindo a proteção térmica. O Projeto é financiado no âmbito do Programa 7th Framework (FP7) da Comunidade Europeia, o projeto AEROFAST (Aerocapture para o futuro transporte espacial).

A problemática é solucionada com o recurso a formulações, combinando o tamanho do grão da cortiça, tipo de resina/proporção, fração de reforço, cargas e os processos de mistura e aglomeração. Para a validação das diversas formulações, foi usado uma caracterização de base (termo mecânica) e uma análise qualitativa.

As sondas espaciais são feitas de Norcoat-Liège (uma resina fenólica de baixa densidade material com impregnação de cortiça), que servirá como uma solução de linha de base (Pinaud et al. 2012).

Na última década, o conceito de produto, projeto sustentado tem cada vez um papel preponderante, assumindo um significado de design de produto e sustentabilidade. O design de Produto está focado, como o nome indica na criação de novos produtos ou serviços que tragam valor e inovação. Por outro lado, a sustentabilidade foca no bem-estar no futuro, ou seja, nas necessidades dos consumidores, social, económico, ambiental, entre outros (Mestre & Vogtlander 2013).

Embora a biodegradação fúngica de biomateriais, como por exemplo a cortiça e a madeira, apesar de ser um processo importante na reciclagem de matéria orgânica contribuindo para a sustentabilidade ambiental. Esses processos têm um impacto negativo na preservação desses materiais, com impacto na economia e na indústria. A deterioração da cortiça depende da capacidade de fungos têm em degradar a suberina, que está alocado na camada mais interna da parede celular. Normalmente a cortiça é apontado como um recalcitrante à degradação microbiana. Há um esforço na compreensão de todos os processos de decomposição da cortiça, devido ao impacto deste na produção de subprodutos. Um processo de estabilidade da placa de cortiça, placa extremamente colonizada por fungos, é colocar a placa em água a ferver. O processo, permite a obter uma estrutura celular mais homogénea, ou seja, há uma expansão das células da cortiça, resultando num material com um teor de humidade adequado. Existe uma panóplia de fungos na cortiça, especialmente *Penicillium*, coexistentes com *C. Sitophila*. O efeito da colonização fúngica é desagradável em vinho engarrafados, podendo conferir alterações sensoriais desagradáveis (Silva Pereira et al. 2006).

Os avanços na Indústria Têxtil por parte dos processos produtivos, a tecnologia e os equipamentos, faz com que surjam novas fibras, tecidos e constantes melhoramentos de produtos já existente. Um das limitações na utilização da cortiça no mercado da moda é facto de esta ser altamente hidrofóbica, ou seja, tem baixa energia de superfície. Portanto a sua baixa reatividade com produtos como pigmentos, corante e acabamentos em geral, limita o uso deste substrato. Desta forma, torna-se necessário realizar modificações de superfície, com o

propósito de aumentar a sua energia de superfície. Permitindo a interação com materiais que tragam valor acrescentado ao produto final, tais como a estampanaria, acabamentos, revestimentos, etc. Diversos tratamentos são realizados com o propósito de aumentar a energia de superfície, por exemplo, tratamentos químicos, conferem uma melhoria da ligação interfacial entre o substrato e o produto de acabamento têxtil. Contrariamente, este tipo de tratamento conduz a custos elevados e a eliminação destes produtos para o meio ambiente, gerando grande controvérsia e preocupação.

Face à problemática, o tratamento plasmático é uma tecnologia amiga do ambiente, com provas já dadas, relativas ao seu potencial na modificação da superfície em diversos materiais, sem que as suas propriedades intrínsecas sejam afetadas. Portanto, a melhoria significativa na absorção e na adesão de diversos produtos, é provocado pela descarga plasmática sob a superfície, gerados em gases inertes e reativos que limpam a superfície dos materiais. No referente ao volume de desperdícios que a indústria produz, surgem constantemente soluções para rentabilizar esse material, com intuito de promover perspectivas futuras para aplicações. A modificação da superfície do aglomerado de cortiça, proporcionado pelo tratamento plasmático a criação de mais grupos polares, ou seja, aumenta a energia de superfície, permitindo que este se torne menos hidrofóbica. Desta forma, há uma adesão com corantes do tingimento, pigmentos da estampanaria, entre os demais (Oliveira et al. 2013)

A indústria corticeira produz uma quantidade significativa de resíduos sólidos. De salientar, a moagem em pó e pó de separação granulométrica, através da produção da indústria de granulados de cortiça. Estes representam 51 % e 46 % do total de resíduos sólidos. Depois a trituração da prancha de cortiça obtém-se o pó de moagem. Devido ao volume elevado de cinzas, o pó de moagem não é utilizado em processos de combustão. Por outro lado, o pó de separação granulométrica é um possível combustível. O pó de separação é obtido a partir da separação de densidade (Montero et al. 2014). Devido a sua composição, é uma substância muito propensa a provocar acidentes com perdas de vidas humanas. Contudo, a explosão destes pós é raro. O pó de combustível é influenciado pela pressão inicial (P_i), idêntico ao que ocorre com os gases combustíveis. Existe uma relação entre a concentração mínima de explosão (C_{min}), a pressão máxima de explosão ($P_{máx}$), com a P_i , ou seja, com o aumento da P_i de 1 a 4 bar, o C_{min} e a $P_{máx}$ aumentam linearmente.

Contudo, o índice de detonação (K_{st}) tem um acréscimo com a P_i . O aumento da P_i representa um patamar à pressão absoluta de 3 bar, com a passagem para o 4 bar, há uma redução desses parâmetros. As explosões do pó de carvão são formulados através da evolução da $P_{máx}$ com a P_i :

$$\frac{dP}{dt} = A + BP_i^{0.5} \quad (1)$$

em que dP/dt varia com P_i . Uma das características do carvão betuminoso é a sua detonação, a cerca de 15 bar. Onde existem duas relações, um entre a evolução da $P_{máx}$ com a P_i e outra evolução entre a dP/dt com a P_i (Pilão et al. 2004).

Existe um grande esforço no uso destes resíduos para a produção de energia. Recentemente a produção de biomassas tem-se intensificado, como mais-valia é a sua matéria-prima (resíduos), possível substituto aos combustíveis fósseis. Tal como na produção de Peletes de resíduos florestais, é possível a obtenção de resultados semelhantes com resíduos de cortiça densificados com diferentes granulometrias (Montero et al. 2014).

O aglomerado de cortiça (figura 36) é feito a partir de uma mistura de cortiça natural e um agente orgânico, através da pressão em autoclave e trespessada por um escoamento de vapor e água a alta temperatura. Permitindo que a sua densidade seja alterada, sem que as suas propriedades da reciclabilidade e fonte renovável da matéria-prima seja alterada (Sanchez-Saez et al. 2015).



Figura 36: Aglomerados de cortiça (Oliveira et al. 2013).

O aglomerado de cortiça está em expansão, tomando lugares de destaque na investigação, como um material isolado, estrutura de sanduíche ou como material de enchimento de uma estrutura tubular. Os estudos do comportamento mecânico são: compressão, tensão, corte, fluência, flexão, entre outros.

Este material é um bom substituto de espuma polimérica para aplicação em absorção energética, uma vez que tem uma boa capacidade de absorção de energia e retorno elástico quase total. Com a comparação do módulo de elasticidade específica com a resistência à compressão específica, a cortiça obtém melhores prestações que muitas espumas de polímero flexível ou com espumas de polímero rígido. Portanto, a sua aplicação em dispositivos de segurança de passageiros, para absorção da energia devido a impacto. Para a melhoria da absorção, ou seja, conferir um aumento da resistência ao esmagamento é adicionado à estrutura um material deformável.

Em geral, os sistemas de absorção de impacto frontal de veículos é projetado para trabalhar à compressão. Contudo, tratando-se de um material celular, este tem um comportamento mecânico quase estático sob compressão. O aglomerado de cortiça quando sob compressão, esta apresenta um comportamento elástico linear, devido à resistência à flexão das paredes celulares. Com a deformação progressiva das paredes celulares, esta tem um patamar em que

a tensão é quase independente da tensão. Só é finalizado quando as células entram em colapso, a partir do qual há uma densificação do material, correndo um aumento acentuado da tensão. A densidade influencia em grande escala este comportamento (Sanchez-Saez et al. 2015).

A cortiça tem tido um papel importante no isolamento acústico de edifícios, sem que haja impacto na saúde humana. Porém, a cortiça tem tido um grande interesse na construção de edifícios, devido às suas características térmicas e mecânicas, como por exemplo na utilização em argamassas. É descrito na bibliografia a sua utilização em diversas formas, de salientar a junção com argila e argamassa. Em várias cidades de Marrocos, como Ifrane, é muito recorrente o uso de argila na construção.

Devido à microestrutura e porosidade, a cortiça tem tido um interesse, devido às propriedades térmicas, acústicas, hidrofóbica, entre outras. Todavia, a argila é proveniente da decomposição rochosa, material heterogêneo em escalas diferentes. Na escala macroscópica, estando associados outros minerais, por exemplo o quartzo. Quanto à microscópica, esta apresenta uma estrutura em folha. A argila é constituída principalmente por uma mistura de filossilicato hidratado. Este composto pode ser combinado com outros minerais, por exemplo, carbonatos, óxidos, etc.

Juntando a argila à cortiça obtém-se um produto duas vezes mais isolante e mais leve que argila sozinha. O ganho obtido em termos de energia deste material, ou seja a transmissão térmica passou de $U=0,42\text{W/m}^2\text{K}$ para $U=0,24\text{ W/m}^2\text{K}$ (Mounir et al. 2014).

2.3.7. Película de vinil

O vinil é o nome vulgar do cloreto de polivinil (PVC) (El-Hajjar & Petersen 2011). Os monómeros vinílicos surgem relatados pela bibliografia no final de 1940, por Michael Szwarc, onde demonstrou pela primeira vez a polimerização aniônica de estireno usando naftaleneto de sódio em tetrahidrofurano (THF) (Baskaran & Müller 2007). O PVC é uma resina muito comum, com uso variado e preço relativamente baixo quando comparado com o Poliamida (PI) e o Politereftalato de etileno (PET) (Li et al. 2014). Possui propriedades relevantes, como estabilidade a longo prazo, resistência à chama, as suas propriedades mecânicas podem ser controladas, recorrendo a materiais macios ou rígidos. A sua maior utilização está a nível do domínio ferroviário, por exemplo, no revestimento de cabos e fios, exteriores de comboios (Ito & Nagai 2007), sensores, coberturas fotovoltaicas arquitetónicas ou automóveis (Borysiewicz et al. 2014), cosméticos, indústria alimentar (Vabrik et al. 1999). O filme de PVC tem uma infindável variedade de produtos base, para uma igualmente infindável aplicabilidade. Recorrendo a diversos aditivos químicos e auxiliares é possível atingir certos requisitos. Os aditivos mais conhecidos são os plastificantes, estabilizadores/ de calor, entre outros. A adição destes aditivos pode atingir os 50 % do peso da película. No entanto, o PVC quando revestidos sofrem modificação química da superfície, ou seja, levando a alteração do comportamento de ligação entre ambos os compostos. Com a agitação das moléculas, proporcionado pela temperatura, origina um fenómeno de migração de polímeros. Este fenómeno está interligado

ao tamanho, flexibilidade ou características físicas da molécula. A preocupação desta migração, prene-se pelas questões sanitárias, por exemplo quando em contato com alimentos, produtos médicos, entre outros (Quesne et al. 2014). Quer o PVC e o Polietileno (PE), são amplamente utilizados em supermercados na embalagem, por exemplo, queijo. O queijo é embrulhado, enrolado ou mesmo colocado em cuvetes de PE expandido. Para conferir melhoria nas propriedades técnicas da película, esta é-lhe adicionado aditivos (Panseri et al. 2014).

Por vezes as películas de PVC são acompanhadas de camadas adesivas. Ensaio mecânicos da camada garantem a resistência da união. Todavia, os testes mecânicos não permitem a informação total da natureza da falha, químicas, ou mesmo da topografia. O SEM, AFM e o TEM permite a obtenção da topografia das superfícies de falha, destacando o AFM, pois é um método não destrutivo de amostras. No químico, a falha é caracterizada pelo método de espectroscopia eletrónica de Auger (AES), espectroscopia de fotoelétrons de raios-X (XPS) e espectroscopia de massa de iões secundários (SIMS), destacando o XPS.

Em geral, os rótulos de PVC são ligados às garrafas de vidro por meio de cola acrílica (figura 37), polivinil de acetato, ou adesivos com base etileno acetato de vinil.

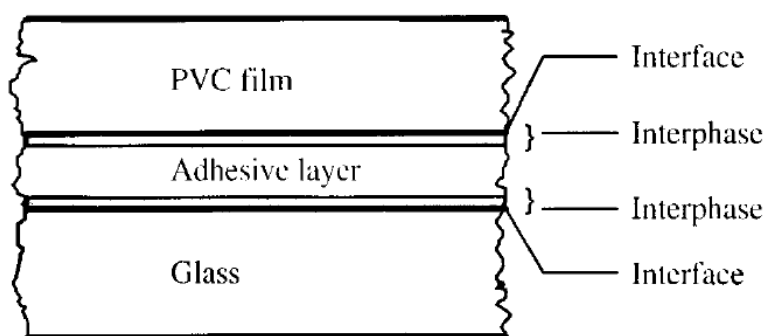


Figura 37: Representação esquemática da adesão PVC/vidro (Vabrik et al. 1999).

O estudo desta interface é feita pelos métodos AFM e XPS. A separação de PVC do vidro, este último apresenta ilhas isoladas de adesivo de uma gama de 100 a 200 nm de dimensão lateral, 30 a 50 nm de altura e cobrindo 10 a 15 %. A interação química ocorrida entre a cola e a superfície do vidro, provoca as irregularidades da superfície, substancialmente maior, 6 nm e 2 nm para vidro virgem (Vabrik et al. 1999).

Atualmente a engenharia utiliza compósitos poliméricos multifuncionais, devido aos benefícios do uso deste tipo de materiais. Por exemplo o uso de matrizes poliméricas para a produção de placas flexíveis, entre outras. O PET e o PI, são dois materiais que apresentam resistência à radiação e térmica, capacidade dielétrica e desempenho mecânico, ótimos para concentradores refletores, dispositivos de microeletrónica, etc. Geralmente, a metalização de polímeros é feita recorrendo a evaporação sob vácuo. O PVC com revestimento metálico, apresentam um desempenho ótico e uma adesão interface soberba. O PVC é revestido com

aluminização produzido por evaporação a vácuo, onde a superfície apresenta um alta refletividade e elevada adesão. Através do microscópio de força atômica (AFM) é possível verificar a rugosidade da superfície, estando intimamente ligada com a capacidade refletora desta. A ligação PVC/revestimento metálico tem inúmeras aplicações, recolha de luz solar, espelhos flexíveis, e muitas mais aplicações (Li et al. 2014).

Como já foi referido este tipo de material, agregado a outros composto origina materiais multifuncionais, é o caso de PVC com óxido de zinco (ZnO), com aplicação em sensores ou aplicações fotovoltaicas. Este composto permite uma multiplicidade de morfologias nanoestruturados, nanobarras, nanofibras, nano fios, nonoanéis e uma diversidade de outras formas. Sendo consideradas desejáveis para aplicações de absorção de luz, por exemplo. A sua produção sob substratos rígidos e flexíveis é feito recorrendo a crescimento hidrotérmico, anodização e eletrofiação, a uma temperatura do processo de -200 °C a 150 °C. Recorrendo a vácuo é possível o controlo da pureza da superfície, bem como a degradação da superfície (Borysiewicz et al. 2014).

Apesar da substituição de materiais convencionais, como o alumínio e o aço, para materiais compósitos, devido à sua rigidez e resistência, estes exigem novas abordagens de testes e validações sem que haja a destruição das peças. Este tipo de materiais possuem grandes anomalias, por exemplo na fabricação, como porosidades, entre outras, podendo ter grande impacto estrutural na peça. Para a análise dos materiais compósitos, existem diversas técnicas, imagiologia, ensaios de tração, uso de polímeros para análise das tensões, entre outras. Um método capaz de quantificar as pressões sobre uma superfície de compósito é usando películas de vinil adesivo. Este ensaio permite conexão de imagens digitais através dos revestimentos, que agem como uma camada padrão. Ou seja, esta abordagem simplifica a preparação das amostras para a correspondência, recorrendo a películas de vinil. Para uma validação de todo o processo, é usado um método de elementos finitos, como forma de predizer, o tipo de valores de deformação, etc. (El-Hajjar & Petersen 2011).

A utilização deste tipo de películas, é um possível produto como atenuador de hipotermia. A título de exemplo, em recém-nascidos, onde representam 72 % dos pacientes hospitalizados por hipotermia na Nova Zelândia, com uma taxa de mortalidade neonatal de 0,2 %. É neste período em que a hipotermia se torna grave, colocando a vida em risco. Vários autores mencionam diversos fatores como causas possíveis, tais como, ambientes desfavoráveis nas salas de parto, erros de transporte, país de origem e particularmente em países em desenvolvimento onde há a redução da temperatura corporal do recém-nascido, entre outras.

Após o nascimento, é necessário a regulação da temperatura corporal, principalmente durante as primeiras 12 horas, onde as taxas de mortalidade são mais sentidas em recém-nascidos prematuros. A Organização Mundial de Saúde (World Health Organization - WHO) recomenda metodologias para redução da perda de calor, como a colocação do bebé sob um aquecedor radiativo, logo após o nascimento, envolve-lo num tecido seco e pré-aquecido, etc. Embora

estas metodologias ajudem a minimizar a hipotermia, no entanto, são recomendado métodos adicionais.

Dois estudos foram realizados, recorrendo a um envolvimento do corpo do recém-nascido em polietileno, em que a temperatura do corpo dos bebés é em média foi de 1,9 °C superior aos não embrulhados no primeiro estudo e 0,9 °C para o segundo, com uma amostra de 62 e 55, respetivamente. Este tipo de procedimento, possibilita uma temperatura maior, cerca de 37,1 °C, temperatura superior à obtida pelas metodologias da WHO (36,3 °C).

No entanto, recorrendo a um isolamento de vinil, a temperatura corporal foi de 35,8 °C, contrariamente as metodologias da WHO apenas conseguiram uma temperatura corporal de 34,9 °C. Passada uma hora a temperatura corporal passou de 36,06 °C para 36,59 °C, enquanto que, no grupo de controlo passou de 35,34 °C para 36,47 °C, a próxima imagem representa esse tratamento.



Figura 38: Bebé às 30 semanas de gestação num isolamento de vinil (Çağlar et al. 2014).

Em conclusão, os métodos referidos têm um comportamento de barreira na regulação da temperatura corporal em recém-nascidos. De salientar o facto, do isolamento de vinil permitirem uma melhor termorregulação do que o isolamento de polietileno (Çağlar et al. 2014).

Com a deposição de dióxido de titânio (TiO_2), quer em Poliuretano (PU) e PVC, por pulverização catódica, permite produzir um produto de alto desempenho. O TiO_2 é usado ao longo das últimas décadas, com inúmeras vantagens, tais como, livre de toxicidade, estabilidade ambiental a longo prazo, purificação de ar e água, entre outras.

Depois da deposição do TiO_2 , é necessário uma averiguação da superfície da película. Para tal, utilizando a difração de raios-X (XRD) para a estrutura cristalina e a morfologia usando o SEM e o AFM. O SEM e o AFM revelam que a rugosidade da superfície dos substratos foi um fator influenciador da morfologia dos filmes de TiO_2 . A força de desmantelamento ou força de separação é analisada, ou seja, força de adesão das películas de TiO_2 aos substratos. Sugerindo

um conceito novo de perda de peso pela força de separação (W). Este indício indica que o PVC apresenta melhor desempenho que o PU (Miao et al. 2014).

2.3.8. Tinta de aeronáutica

As tintas de primário que contêm cromato são muito recorrentes para a proteção de superfícies de metal nu da oxidação. Para além da inibição de oxidação do metal, este é um ingrediente ativo em primário de tintas. Contudo, o crómio no cromato (CrO_4^{2-}) está no estado hexavalente (Cr^{6+}), considerado agente cancerígeno humano. Atualmente a OSHA (Occupational Safety and Health Administration) tem proposto um novo limite imposto de $0,1 \text{ mg/m}^3$ de CrO_3 . Uma das preocupações relacionada com a inalação de aerossóis Cr^{6+} é o cancro do pulmão. Normalmente os aerossóis são em pó, fumos e névoas. Os fumos de Cr^{6+} são resultado da produção de calor provocado pela soldadura de aços inoxidáveis ou um material revestido com crómio. Por outro lado, em processos de galvanização, há a produção de névoas de ácido crómico, resultante da condensação dos tanques.

Em processos de pintura por pulverização, são produzidas partículas durante a atomização do líquido de revestimento. Sendo exigidas práticas durante o seu manuseio, devido à exposição e inalação. Embora o Cr^{6+} aumente o risco de cancro do pulmão em outras indústrias, não existe uma estreita ligação entre o cancro e a sua exposição. Um dos fatores nocivos do Cr^{6+} é a sua concentração e o tamanho da partícula, esta última, pode alojar partículas em zonas pulmonares e profundas, consoante a sua dimensão. Em zonas superiores dos pulmões a depuração mucociliar é responsável pela limpeza das partículas de 24 a 48 horas. Contrariamente, as partículas maiores ($> 10 \mu\text{m}$) são menos suscetíveis de entrar no sistema respiratório. A dimensão das partículas também influencia a sua captura por parte dos filtros ou evadir-se para o ambiente (LaPuma & Rhodes 2002).

Devido ao avanço tecnológico, tendo em vista a proteção estrutural de uma aeronave de ataques de corrosão. Surge a necessidade de introdução de materiais com maior resistência e tolerante a danos. Em peças de alumínio são revestidas com primários de tintas à base de resina alquídica e de nitrato de celulose/alquídicas. Envolve um pré-tratamento com primário com inibidor de corrosão e poliuretano para a proteção superior. Nas ligas de alumínio, é recorrente o uso de pré-tratamentos com cromato ou cromato primário pigmentados. Embora a abordagem seja a substituição de uma peça danificada com corrosão, atualmente é usado uma abordagem diferente, aplicar um método mais eficaz na reparação e revestimento da peça (Smith et al. 1999).

Quando se aborda a manutenção de aeronaves, esta é capaz de produzir quantidades enormes de resíduos tóxicos, por exemplo a marinha dos Estados Unidos, produz 300 milhões de litros. Antes da descarga destes resíduos nos esgotos é necessário um tratamento biológico. O efluente é constituído por uma composição de cloreto de metileno e fenol, com uma concentração de 5000 mg/l e 1800 mg/l , respetivamente. Contudo esta composição é mais abrangente, tendo outros compostos orgânicos, tais como, parafinas, derivados de celulose, sulfonatos de petróleo

e naftaleno, em concentração de 2200 mg/l. O tratamento dos efluentes ou biodegradação destes é resolvido graças às bactérias. No caso da tinta de aviões a Marinha dos Estados Unidos da América, as águas residuais indicam grandes populações de bactérias, equiparadas às quantidades residuais domésticas (Arquiaga et al. 1995).

Geralmente tal como na indústria automóvel, a indústria aeronáutica realiza testes reais em peças com as mesmas características das peças do avião, com o propósito de atestar o processo de pintura. Contudo, o processo de pintura obedece a critérios rigorosos, tais como a temperatura de armazenamento dos produtos e da cabine de pintura, bem como um sistema de recirculação de ar. As temperaturas deverão estar compreendidas entre 18 e 25 °C, geralmente o valor padrão é de 21 °C. Uma abordagem a ter em conta é o facto de todo o avião deverá estar ligado à terra, isto é uma recomendação obrigatória devido a descargas elétricas durante o processo de pintura, provocadas por vapores por exemplo. Para além das propriedades anticorrosivas, a tinta permite uma melhoria aerodinâmica. Desta forma, o desempenho da aeronave depende da sua boa aplicação e manuseio (Zahorski 2013).

O desempenho de voo de uma aeronave está para além da sua eficiência, ou seja, manter um equilíbrio entre a concorrência feroz, prática de tarifas mais baratas e a eficiência ambiental. Onde se destaca o ruído, principalmente em zonas circundantes aos aeroportos e o aquecimento global. Portanto, a realização de projetos com melhorias significativas, tais como na aerodinâmica, em materiais ou estruturas, é possível a obtenção de grau mais elevados. Para 2020 é proposto requisitos claros para a operação de transporte civil, por exemplo a redução para metade o ruído imitado pelas aeronaves, a redução em 50 % as emissões de CO₂ por passageiro-km e a redução em 80 % as emissões de NO_x. Embora, um objetivo secundário é tido como principal responsável pelos custos totais, o preço dos combustíveis. Os objetivos têm um impacto direto sobre o desempenho aerodinâmico da aeronave. Na próxima figura é possível a observação a consciência da indústria aeronáutica para alcançar os objetivos. O desempenho é realizado por meio de novas tecnologias aerodinâmicas.

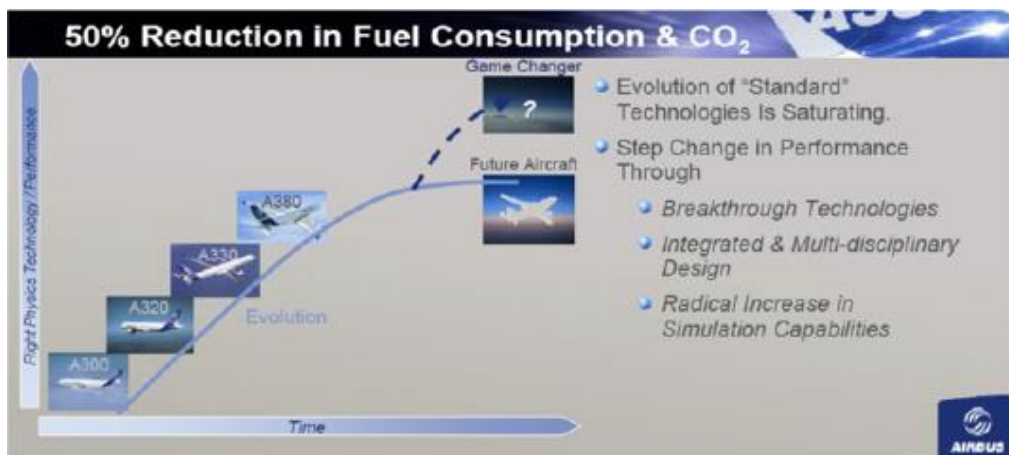


Figura 39: Redução de 50 % de combustível e CO₂ (Abbas et al. 2013).

Neste seguimento, a Comissão Europeia financiou a Coordenação de Ação Europeu KATnet I e II (Tecnologia chave aerodinâmica para a melhoria do desempenho dos aviões). Onde foram redigidos 10 objetivos para aerodinâmica, representados na próxima tabela.

Tabela 2: Objetivos aerodinâmicos (Abbas et al. 2013).

Metas ambientais	Reduzir as emissões	Reduzir a resistência	Reduzir a resistência de vórtice Reduzir a resistência de onda Reduzir a resistência de fricção Reduzir a resistência de pressão
	Reduzir o ruído comunitário	Reduzir o peso	Reduzir as cargas críticas Aumentar a eficiência estrutural
		Reduzir a fonte de ruído	Reduzir a contribuição da fuselagem no ruído fonte Reduzir a contribuição do ruído do motor
	Aumentar a capacidade aeroportuária	Aumentar as taxas de aterragem e descolagem	Reduzir as distâncias de separação
	Melhorar a acessibilidade	Reduzir o custo da fuselagem	Reduzir a complexidade

Para além dos objetivos principais, existe a necessidade de introdução de ferramentas robustas e de rápido resultado, por exemplo o CFD, túneis de vento ou até tinta sensível à pressão, entre outros. Atualmente a indústria, Universidades e a investigação têm andado de mãos dadas para expor avanços tecnológicos (Abbas et al. 2013).

Um dos problemas detetados na fuselagem e parte expostas em pista é que estas sofrem corrosão e a tinta não é exceção. A origem está em climas adversos, por exemplo, durante invernos onde há ocorrência de congelação da pista ou mesmo do avião. Estas situações são colmatadas com medidas de degelo, aplicação de medidas de descongelamento, quer mecânicas ou químicas, permitindo a segurança da operação. Quanto à descongelamento mecânica esta pode ser de duas formas ou através da escovagem e por aragem. Por outro lado, a descongelamento química, tal como o nome indica é pela utilização de produtos químicos na pista e na aeronave, sendo recorrente o seu uso como prevenção na formação de gelo ou geada. No passado era frequente o uso de ureia, atualmente está prática está proibida devido às preocupações ambientais. As fórmulas mais comuns são baseadas em acetatos alcalinos, mas atualmente surgiram fórmulas baseadas em betaína. As regras referentes à prática de descongelamento químico, ditam que o produto deverá ser quimicamente estável, amigo do ambiente e de fácil pulverização. Na mistura é adicionado inibidores de corrosão, devido aos sais de descongelamento ser corrosivo.

As fórmulas atravessam um longo caminho de testes e só os produtos químicos não-corrosivos passam no teste. Na realidade, a corrosão está presente durante a manutenção ou o serviço de aviões. A corrosão tem maior expressão quando comparada com a ureia. A explicação deve-se

ao facto de os testes serem executados durante um curto prazo, contemplando apenas as mudanças em serviço. Sendo necessário testes a longo prazo, como forma de identificar problemas oriundos da aplicação deste tipo de produtos (Huttunen-Saarivirta et al. 2011).

Tal como na indústria automóvel, a indústria aeronáutica usa Tinta Sensível à Pressão (PSP), como ferramenta de medição da pressão aerodinâmica numa dada superfície (McLachlan & Bell 1995). Permitindo também, a capacidade de medir a distribuição da pressão global instável sobre uma superfície rotativa (Juliano et al. 2012). Através de sensores ótico de oxigénio, frequentemente referido como PSP. Consistindo numa película fina de corantes fotoluminescentes (luminóforos), com uma matriz de suporte (aglutinante). A taxa de emissão de luminóforos excitados obedece a relação Stern-Volmer, sugerindo que a taxa de emissão é inversamente proporcional à concentração de oxigênio no filme (Kameda et al. 2012).

A PSP é aplicada como método de desenvolvimento de aeronaves, entre outras, ao qual são testados em túnel de vento (McLachlan & Bell 1995). Desde o seu surgimento, em 1980, a PSP possui vantagens proeminentes de economia de tempo, custo, entre outras (Zhou et al. 2012). Como previsão futura, este método terá um impacto mais abrangente na dinâmica de fluidos. Este método estabelece uma poderosa ferramenta de diagnóstico. Provando ser capaz de produzir dados quantitativos (McLachlan & Bell 1995) e qualitativos (Zhou et al. 2012) a altas velocidades de escoamento, ou seja, magnitude adequada às diferenças de pressão. A PSP tem vindo a adquirir melhorias ao longo dos tempos, por exemplo, a precisão (McLachlan & Bell 1995).

Kameda et al. em 2012 apresentam no seu artigo um sensor ótico de oxigénio desenvolvido como PSP, com capacidade de medir o tempo de variação da pressão na superfície. Foram introduzidas nanopartículas de sílica como ligante para o sensor e um corante sensível dissolvido na mistura. Os corantes são depositados na superfície através de pulverização, formando um filme fino de sílica porosa, depositados sem qualquer aditivo orgânico. O uso de corantes sensíveis, tais como platina tetra (pentafluorofenil) porfirina (PtTFPP) e o tris (4,7-difenil-1,10-fenantrolina) de ruténio (II) dicloreto ($[\text{Ru}(\text{dpp})_3]\text{Cl}_2$) com uma mistura de sílica/tolueno, provoca uma boa sensibilidade à pressão e um tempo de resposta curto (inferior a 0,1 ms). O PtTFPP obteve -0,94%/KPa quanto à sensibilidade à pressão, por outro lado, o $[\text{Ru}(\text{dpp})_3]\text{Cl}_2$, obteve -0,64%/KPa. No entanto, PSP exhibe uma significativa sensibilidade à temperatura substancial, cerca de 1,5%/°C.

A seleção do polímero ou matriz de cerâmica porosa proporciona uma resposta a altas frequências e sensibilidade à pressão, durante a longevidade do PtTFPP. No entanto, causa a desfocagem na imagem de exposição a uma lâmina em movimento. Para tal, foi necessário a introdução de técnicas de pós-processamento na aquisição dos dados. Sendo a sua faceta a produção de uma imagem nítida, corrigindo assim a imagem suja. Desta maneira são produzidos mapas de temperaturas de um hélice de duas lâminas, recorrendo a uma câmara de

infravermelhos, resultando na intensidade fluorescente e da temperatura em função da pressão (Juliano et al. 2012).

Capítulo 3 - Desenvolvimento experimental

Antes de se iniciar a aplicação dos diversos materiais é necessário a modelação tridimensional de um protótipo de Le Mans tendo em atenção o regulamento atual para o protótipo LMP1. Concluído a modelação é produzido um modelo ideal para a área da secção de trabalho do túnel d vento presente no Laboratório de Aerodinâmica e Propulsão da Universidade da Beira Interior. No entanto, é necessário fazer uma formulação da utilização do modelo no túnel de vento. Esta formulação passa pela velocidade do túnel, o seu controlo e a respetiva razão de bloqueio do modelo na secção de ensaio. Para se poder equiparar o modelo ao protótipo real é utilizado um tapete rolante, que permite simular o efeito da rotação das rodas. Findado a modelação tridimensional, através do programa Ansys Fluent procedesse à simulação numérica, tendo em vista a obtenção dos perfis do C_p e de velocidade ao longo da superfície do veículo. A rugosidade e a espessura média dos vários materiais influenciam os resultados, desta forma, recorrendo ao microscópio eletrónico de varrimento (SEM) para a obtenção de imagens tridimensionais ampliadas. Por último através de 25 tomadas de pressão distribuídas ao longo da superfície do modelo é possível a obtenção do C_l e C_d para cada material.

3.1. SISTEMA DE EIXOS

Na figura seguinte é possível verificar o sistema de eixos empregue. A resistência é positiva na direção x e a “*downforce*” negativa na direção z . A força lateral (direção y) não foi considerada no desenvolvimento experimental. O momento de “*pitching*” (picada) é considerado positivo quando o nariz roda para baixo.

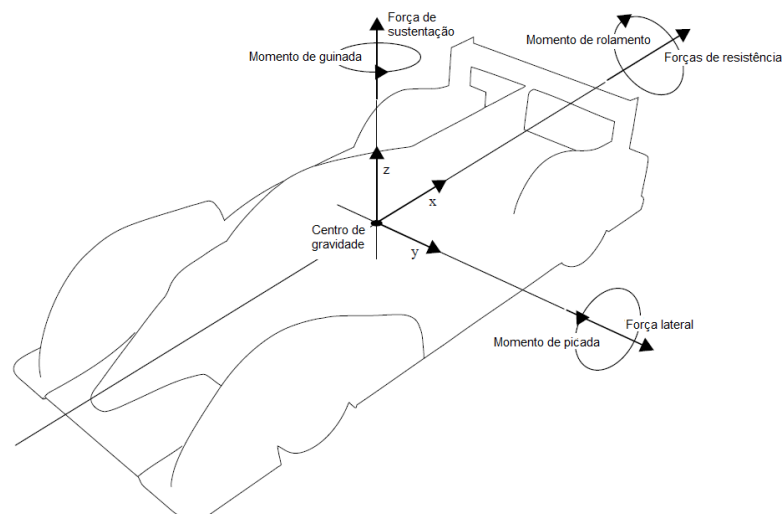


Figura 40: Sistema de eixos (Stevenson 2012).

3.2. MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL.

Com o recurso ao regulamento técnico imposto para este tipo de provas, no Anexo I (FIA 2014), foi elaborado um modelo tridimensional, com o recurso ao programa *SolidWorks 2014* e *Catia V5*. Esta modelação tridimensional teve um contributo muito importante da empresa **PERRINN** (www.perrinn.com), com sede em Skipton, North Yorkshire, Reino Unido, tendo havido uma interação entre ambas as partes com partilha de diversas informações. No Anexo 2 é apresentado o desenho técnico do conjunto com as respetivas peças, tendo em consideração as normas NP, NP ISO e NP EN ISO.

3.2.1. Nariz

O nariz (figura 41) do veículo estende-se desde o bordo de ataque da asa frontal, o ponto mais anterior do veículo, até ao pára-brisas. A estrutura do nariz que se deforma em caso de colisão, para amortecer o impacto, designa-se por caixa de impacto (“*crash-box*”). No interior do nariz são alojados vários componentes tais como partes da suspensão, dos travões, circuitos elétricos, entre outros. A asa frontal tem a forma de um perfil alar invertido, que é deslocada o mais próximo do solo.

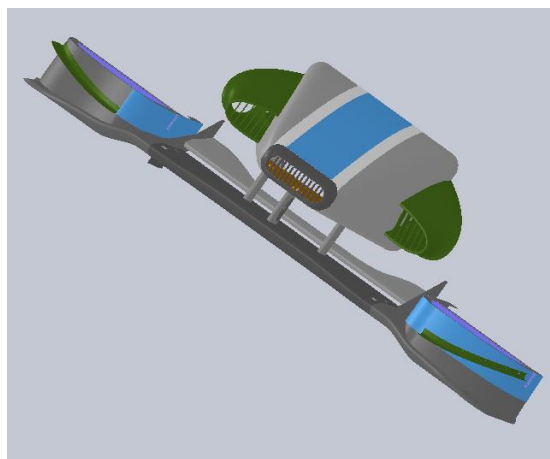


Figura 41: Nariz.

3.2.2. Chassis

O chassis (figura 42), o prato de deslizamento (“*skid plate*”) e o difusor traseiro são componentes integrantes do chassis. O chassis é a base de suporte ao motor, transmissão, sistema de suspensão, diferencial, entre outros. Deve permitir uma fixação rígida com a asa traseira. A jusante deste componente está alojado o difusor com um ângulo de 6,5° e uma cinta (“*strake*”) inserida no interior do difusor, paralelamente ao eixo longitudinal do veículo.

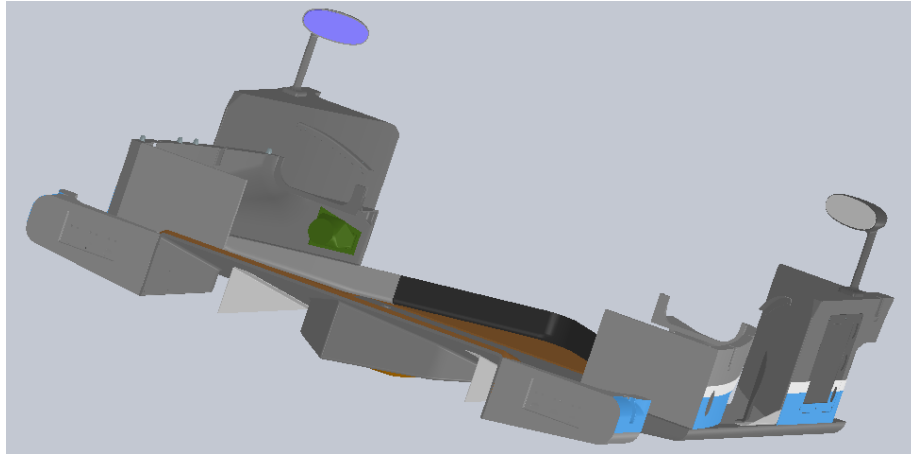


Figura 42: Chassis.

3.2.3. Carnagens

As carnagens (figura 43) possuem as cavas de rodas, zona que albergam as próprias rodas e os circuitos de ar. O circuito de ar é responsável pelo arrefecimento dos travões, direcionando ar fresco diretamente nestes. Para além desta função, esta configuração auxilia a penetração do veículo no fluido. Na parte superior das carnagens é obrigatória a utilização de janelas como auxílio à visualização do pneu, permitindo também a remoção do calor gerado pela travagem e o rolamento do pneu.

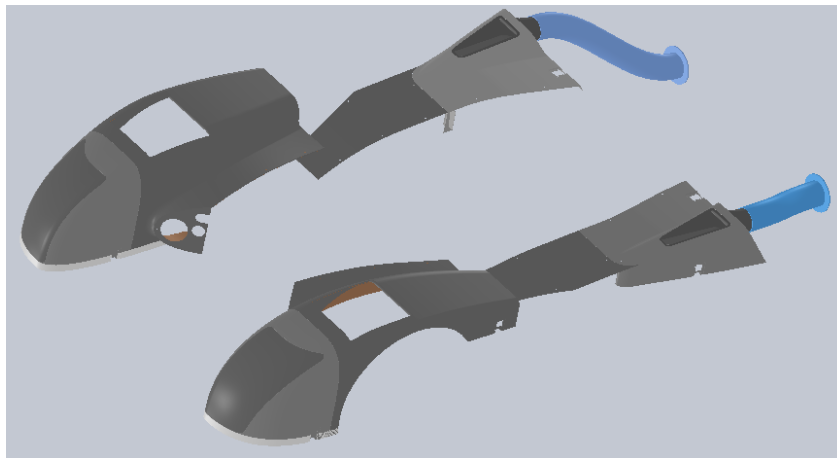


Figura 43: Carnagens.

3.2.4. Roda dianteira e traseira.

Tal como os outros componentes, as rodas não são exceção ao regulamento. A roda completa, medida horizontalmente ao nível do cubo da roda, tem uma largura (máxima) de 14 " (355,60 mm) e um diâmetro (máximo) de 28 " (711,20 mm). A roda deve pesar 7,5 kg no mínimo à frente e na retaguarda. A jante deve ter um diâmetro (máximo) de 18 " (457,20 mm) na dianteira e traseira e a sua largura máxima é de 13 " (330,20 mm)

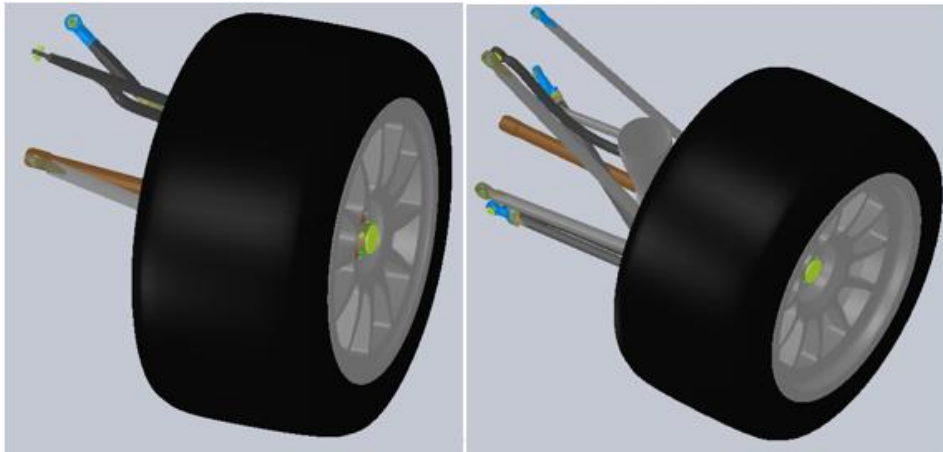


Figura 44: Roda dianteira e traseira.

3.2.5. Cockpit.

O “*cockpit*” talvez seja o componente mais importante quer, na segurança do piloto, no suporte à montagem de outros componentes, como o nariz, o chassis, entre outros. O “*cockpit*” ou cabine de pilotagem (figura 45) é elaborado em forma de “*monocoque*”, ao qual o regulamento dá maior nível de relevo. Este deve albergar uma pessoa, o material para a sua construção é a fibra de carbono, deve ter uma rigidez torsional de 40 KNm/° , minimizar a massa e a altura ao centro de massa, garantir a segurança do piloto, testando-se a força em caso de uma colisão frontal e a resistência das estruturas de capotamento. Na sua parte superior é elaborado uma entrada de ar, com acesso à admissão do motor. Esta é colocada neste local, permitindo a entrada de ar o mais frio possível e em quantidades necessárias pela depressão criada pelo motor.

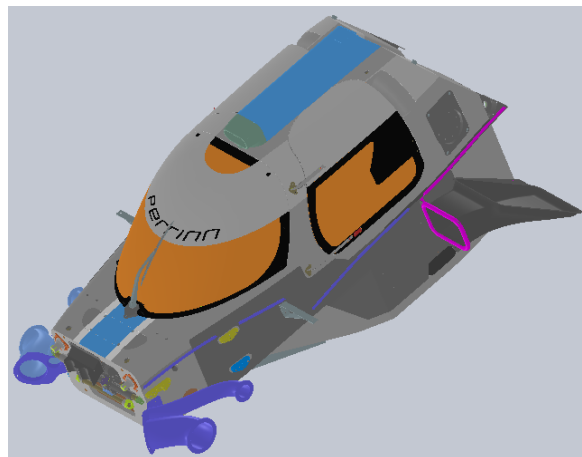


Figura 45: Cockpit.

3.2.6. Cobertura do motor

Este componente tem a função de cobertura do motor (figura 46). Com a revisão do regulamento, foi acrescido uma alheta ou barbatana a este componente, adicionando-se-lhe a função de limitação da rotação do próprio veículo (momento de rotação). O regulamento refere que a barbatana não deve ter uma deflexão superior a 100 mm (em qualquer ponto), para uma

carga de 100 daN (1000 N). No caso de deformação permanente, esta deve ser inferior a 3 mm após 1 minuto de retirar a carga.



Figura 46: Cobertura do motor.

3.2.7 Asa traseira

A asa traseira é uma estrutura composta por duas asas: um perfil alar invertido e um flap, ao qual é acoplado um *Gurney flap* no bordo de fuga. O recurso a suportes nas extremidades da asa, permite que esta estrutura se torne rígida com o aumento do *downforce*. Igualmente no seu plano médio é feito o mesmo, limitando assim a flexão da asa e fazendo uma continuação da barbatana. Os suportes estão montados paralelamente entre si, e paralelas ao eixo longitudinal do veículo.

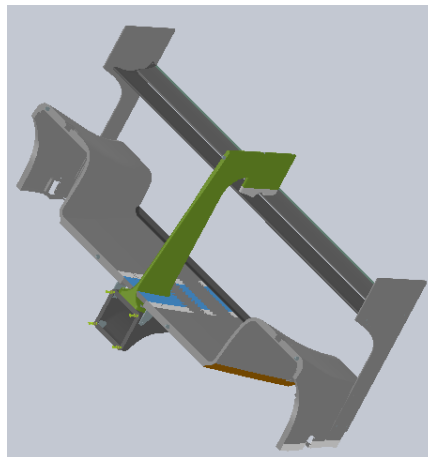


Figura 47: Asa traseira.

3.2.8. Modelo completo

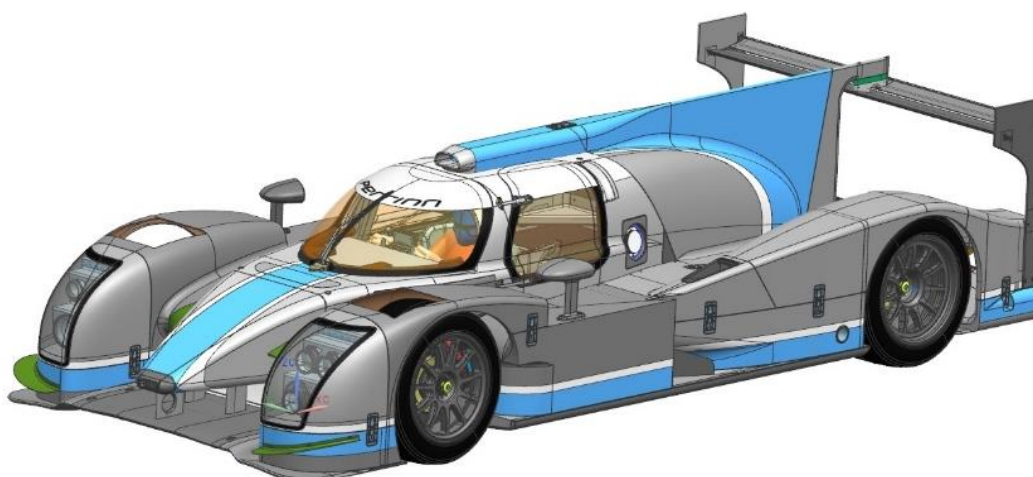


Figura 48: Modelo tridimensional completo.

3.3. ELABORAÇÃO DE UM MODELO FÍSICO À ESCALA.

Depois de finalizada a parte de modelação do protótipo, presente na figura anterior, foi necessário proceder-se à fabricação de um modelo à escala. A escala foi selecionada de acordo com a bibliografia atendendo a que o modelo a testar não deverá ultrapassar os 5% (Hucho & Sovran 1993) ou os 7,5% (Katz 1995), desta forma, a escala é de 3,3% da área total de teste do túnel de vento. Para a escala de 1/10, permite a simplificação dos resultados, uma melhor visualização de todo o sistema e acima de tudo uma fácil maquinação por parte da fresadora. O modelo foi elaborado, recorrendo à fresadora de três eixos G-WEIKE ® e o seu controlador (figura 49), existentes no Departamento de Ciências Aeroespaciais (DCA) da Universidade da Beira Interior (UBI).



Figura 49: Fresadora de 3 eixos e o seu controlador.

O modelo foi produzido em poliestireno extrudido (Roofmate SL), como material selecionado, devido às suas características, tais como a facilidade em ser trabalhado, não provocando um

desgaste acentuado na fresa e um subsequente aumento da temperatura desta, originando deformações, alteração na forma e nas cotas de atravancamento.

A mesa da fresadora tem um volume de trabalho de 1500 X 1500 X 150 mm, onde na figura seguinte é apresentado o esquema dos seus eixos.

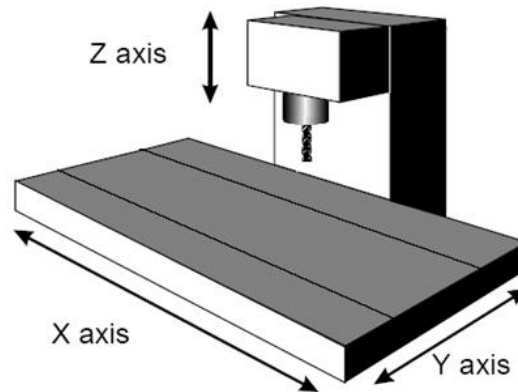


Figura 50: Eixo da fresadora.

Devido à limitação física da fresadora, foi necessário o uso do programa *Vetric 3D CUT* versão 1.025 para seccionar o modelo, converter o modelo tridimensional em linguagem máquina (Fanuc), simular a maquinação e obter os tempos físicos de cada operação. Todavia, devido à dimensão reduzida de algumas peças, foi necessário recorrer a uma outra máquina, também presente no DCA da UBI, a Laser G-WEIKE ®. Este equipamento permite cortes em placas de balsa com 1 mm de espessura.



Figura 51: Laser da G-Weike ® da UBI.

3.4. TÚNEL DE VENTO

Os ensaios do modelo LMP1, à escala de 1/10, foram realizados num túnel de vento do laboratório de Aerodinâmica e Propulsão da UBI, representado na figura 52. A secção de trabalho do túnel é de 800 mm de largura, 800 mm de altura e 1400 mm de comprimento. O túnel de vento é capaz de produzir uma velocidade máxima de 33 m/s (118,8 km/h) na secção

de ensaio. Utilizando a largura do veículo à escala de 190 mm, obtém-se um número de Reynolds (Re) igual a $4,06 \times 10^5$. Este valor é inferior ao real, em cerca de 3,4% para a velocidade do veículo real de 90 m/s (324 km/h).

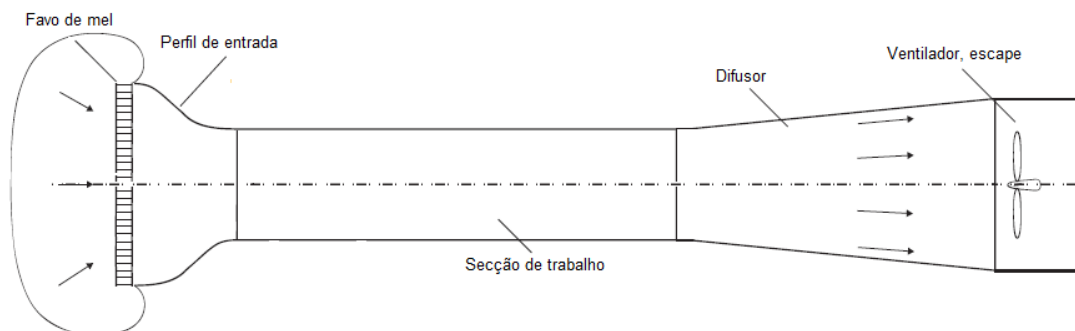


Figura 52: Esquema do túnel de vento presente no laboratório.

3.4.1. Velocidade efetiva do túnel de vento

De acordo com o Teorema dos π de Buckingham a semelhança dinâmica entre o modelo e o protótipo é garantida através da igualdade entre os parâmetros adimensionais revelantes. Assim, no caso presente, o Re e a própria geometria do modelo seriam função do coeficiente de resistência (C_d), ou seja, $C_d = f(\text{Re}, \text{geometria})$.

$$\text{Re}_{\text{real}} = \text{Re}_{\text{modelo}} \quad (2)$$

onde, esta igualdade seria extremamente complicada porque, para além da igualdade de parâmetros adimensionais, o regime do escoamento terá de ser igual no modelo e no protótipo. Ora, como estamos a trabalhar com uma escala 10 vezes inferior à realidade e a velocidade do protótipo real está bem acima do 300 km/h (83,33 m/s), para se poder igualar as equações à velocidade do túnel de vento, este teria de operar a uns significativos 900 m/s, o que não é exequível devido à velocidade máxima do túnel de vento e ao fato de neste caso o regime do escoamento ser compressível.

O que se faria nesta situação era obter dois ou três pontos de um parâmetro adimensional, por exemplo coeficiente de resistência aerodinâmica (C_d), obtidos experimentalmente. Depois de alcançados esses pontos basta apenas fazer a extrapolação para o número de Reynolds (Re) do real de 10^5 , dentro do mesmo regime do escoamento.

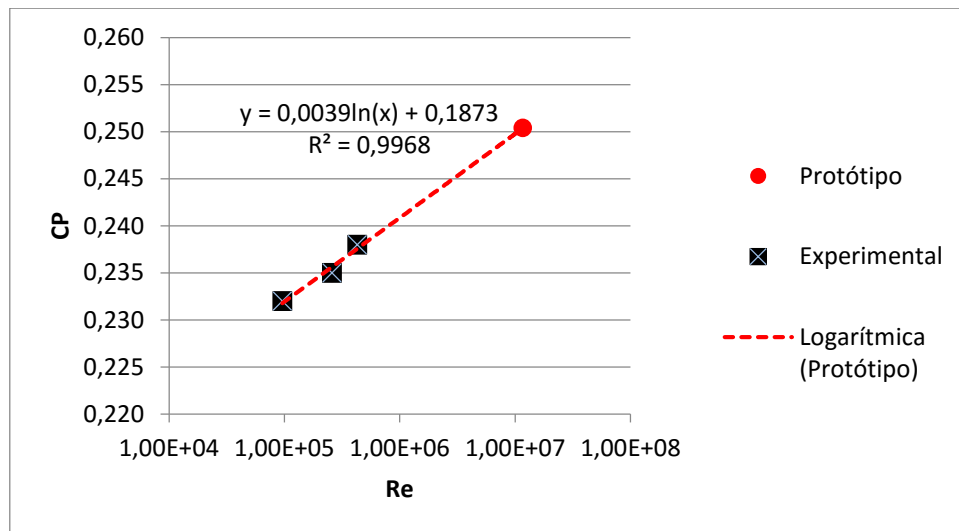


Figura 53: Gráfico de Re numa escala logarítmica.

Para o Re pretendido obtém-se agora um Cd de 0,232, ao qual corresponde uma velocidade de 7,405 m/s para que haja uma semelhança entre o Re do modelo e do real, no Anexo 3 são apresentado os respetivos valores.

A velocidade efetiva do escoamento de ar no túnel de vento é medida recorrendo à diferença de pressões, contemplando a pressão estática à entrada do túnel e a pressão estática à entrada da secção de trabalho. Na próxima figura é possível a visualização esquemáticas da abordagem seguida.

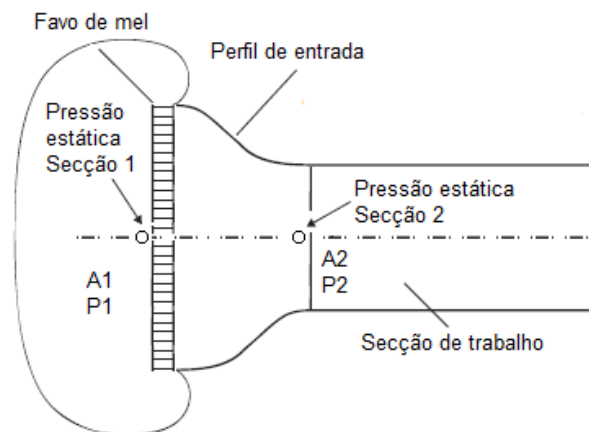


Figura 54: Abordagem para a medição da velocidade efetiva do túnel de vento.

Em escoamentos ideais de um fluido não viscoso ao longo de um tubo de corrente, sendo possível a elaboração de uma expressão para a velocidade na secção de ensaio. Com recurso aos fundamentos presentes no livro de Brederode de 2014, é possível a seguinte formulação. Tomando como ponto de partida a equação de conservação da quantidade de movimento

$$\text{Massa} \times \text{aceleração} = \text{diferença das pressões} - \text{comportamento do peso}$$

ou seja:

$$\rho \times A \times ds \times U \times \frac{dU}{ds} = -A \times \frac{dP}{ds} \times ds - \rho \times A \times ds \times g \times \sin \alpha \quad (3)$$

Simplificando a expressão e $dh = \rho \times ds \times \sin \alpha$, temos:

$$U \times \frac{dU}{ds} = -\frac{1}{\rho} \times \frac{dP}{ds} - g \times \frac{dh}{ds} \quad (4)$$

$$\frac{1}{\rho} \times \frac{dP}{ds} + U \times \frac{dU}{ds} + g \times \frac{dh}{ds} = 0 \quad (5)$$

A expressão 5 representa a equação de Bernoulli em escoamentos permanentes e sem atrito. Esta equação representa a conservação da energia mecânica do escoamento na ausência de perdas por atrito viscoso ou cinético, em regime permanente. Com a integração desta equação ao longo da linha de escoamento, entre a secção 1 e a secção 2, obtemos uma nova expressão:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} + g \times h_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} + g \times h_2 \quad (6)$$

Tratando-se de um escoamento meramente incompressível, ou seja, massa volúmica (ρ) é constante e as tomadas de pressão das duas secções estão à mesma cota, vem:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{U_2^2}{2} \quad (7)$$

$$U_1^2 - U_2^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho} \quad (8)$$

Utilizando a equação da continuidade, com conservação de massa dentro do tudo de corrente, ou seja, a “taxa de acumulação de massa num volume de controlo é igual à massa que entra menos a massa que sai”. Tratando-se de um fluido incompressível, então a massa que entra é igual à massa que sai. Definindo a velocidade média como a velocidade uniforme na área (A) que produziria o mesmo caudal (Q), relacionando ambas as secções, $Q = A \times U \leftrightarrow A_1 \times U_1 = A_2 \times U_2 = \text{constante}$.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (9)$$

Substituindo U_1 na expressão 8 e resolvendo tudo em função de U_2 , obtemos assim:

$$U_2 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (10)$$

3.4.2. Fatores de correção do Túnel de vento

O modelo pode perturbar o escoamento na seção de teste do túnel de vento de forma significativa. A razão de bloqueio pode ser definida como a proporção da área frontal do carro na área da secção transversal na saída do túnel. Normalmente são usadas relações inferiores a 7,5 % (Hucho & Sovran 1993).

Os fatores de correção aplicados em túneis de vento são utilizados de uma forma empírica a fim de tornar os resultados experimentais mais representativos do escoamento não perturbado. Há vários fatores utilizados na correção, no combate aos seguintes efeitos: paredes do túnel de vento, bloqueio sólido, curvatura, flutuabilidade e distorção devido à exposição das superfícies de controlo, cabos, suportes e proteções. Pope et al. no seu livro de 1913, apresenta informação detalhada quanto aos testes em túnel de vento, desenvolvimento de túneis de vento, seus efeitos, etc. Apesar dos seus testes serem exequíveis em modelos em forma de perfil alar, perfil quer quadrado ou redondos, não existe qualquer formulação específica para veículos.

Restrição das paredes do túnel de vento

As paredes do túnel de vento exercem influência sobre o escoamento, ou seja, nas paredes, o escoamento nesta zona tem uma componente normal de velocidade zero, ou seja, escoamento não perturbado. Caso contrário, será agravado pelo facto de que a interferência com a parede varia ao longo desta. O natural fluir do corpo pelo ar é diferente do fluir num túnel de vento. Com o contorno físico das paredes do túnel, originando um perfil aerodinâmico nas paredes, limitando assim o crescimento da camada limite ou mesmo a sua eliminação (Garner et al. 1966; Ewald 1998).

Efeito sólidos de bloqueio - K_T

Devido à presença do modelo na secção de teste, no interior do túnel de vento, a área da secção transversal deste é reduzida, ou seja, resultando numa região de velocidade mais elevada produzida na vizinhança do modelo. Isto é conhecido como um “bloqueio de sólido” ou efeito de “blocagem”. Por forma a obter uma maior confiança nos resultados, é importante ter em atenção o seguinte caso, quando a velocidade do túnel de vento é medida a montante da secção de testes e deverão ser aplicados fatores de correção (Pope et al. 1999).

Então, o fator de correção do bloqueio (K_T) é deduzido tendo em consideração as experiências elaboradas por Pope et al., apresentadas a seguir:

$$K_T = \left(1 + \frac{1}{4} \frac{A_M}{A_T}\right)^2 \quad (11)$$

onde A_M e A_T , são as áreas das secções transversais do modelo e do túnel, respetivamente. Para dar conta de um possível erro induzido por efeitos de bloqueio, a relação bloqueio túnel de vento é calculada e o índice aerodinâmico de interesse é então devidamente modificado. A pressão dinâmica corrigida (q_c) e o coeficiente de pressão (C_p) são calculados como:

$$q_c = q \left(1 - \frac{S}{C}\right)^2 \quad (12)$$

em que q é a pressão dinâmica não corrigida, S é a área frontal do modelo, e C é a secção transversal do túnel de vento na secção de ensaio. O coeficiente não corrigido de pressão é dada como C_{PU} . Os índices aerodinâmicos são, então, corrigido da seguinte forma:

$$C_P = \frac{1 - (C_{PU})}{\left(\frac{q_c}{q}\right)} \quad (13)$$

Efeito de flutuabilidade

Num túnel de vento de secção transversal constante, o crescimento da camada limite e perdas por atrito ocorrem nas paredes do túnel. Como resultado, a velocidade do escoamento não perturbado é forçada a aumentar, a fim de satisfazer a exigência de continuidade do caudal. O aumento de velocidade é acompanhado por uma diminuição na pressão estática ao longo do comprimento do túnel, o que provoca um aumento de resistência no modelo. Se a força de resistência sobre o modelo for requerida é necessário primeiramente medir o gradiente de pressão estática no túnel e aplicar fatores de correção (Stevenson 2012; Pope et al. 1999).

3.5. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE ROLANTE

Antes mesmo de se proceder ao seu desenvolvimento é de extrema importância a análise da camada limite, ou seja, para que o modelo opere num regime turbulento. Com a introdução da teoria de camada limite (do inglês *boundary layer*), por parte de Ludwig Prandtl, em 1904. Desta forma, a descrição do escoamento de um fluido na vizinhança de uma parede, quer a viscosidade e a fricção são importantes na análise. Estas propriedades serão controladas através da camada limite (Schripp et al. 2014).

Um dado fluido, neste caso o ar, as suas partículas têm velocidade zero na superfície da placa em contato, originando uma estagnação parcial das partículas verticalmente adjacentes a elas. Este processo continua para o bordo da camada de fronteira, onde a velocidade das partículas é tipicamente definido como sendo 99% da velocidade livre de vapor. As propriedades da camada limite podem ser calculadas utilizando formas diferenciais parciais das equações de *Navier Stokes* simplificadas. No entanto, se a forma do perfil de velocidades da camada limite é assumida, a equação simplificada para uma equação diferencial ordinária (com respeito ao comprimento do corpo sujeito), que pode ser integrado numericamente. Uma hipótese razoável é que a espessura da camada limite tem zero no bordo de ataque do corpo, e que o escoamento na região da camada limite é laminar. À medida que o número de Reynolds da camada limite aumenta, este faz a transição para um regime turbulento (para uma placa plana $Re = 5 \times 10^5$), ilustrado na figura seguinte (Schlichting 2001).

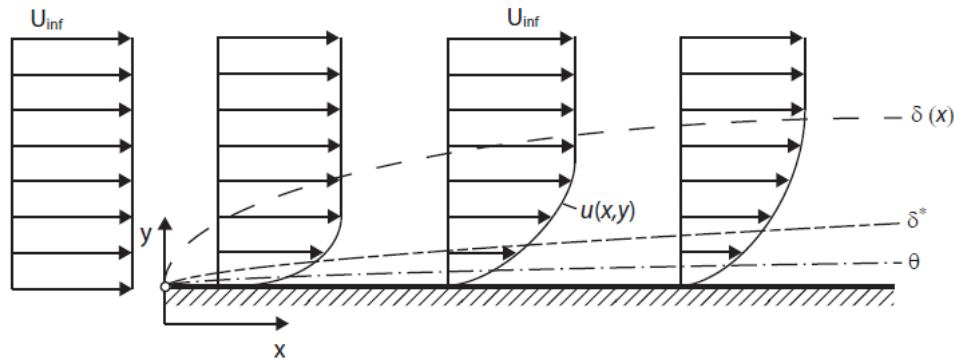


Figura 55: Desenvolvimento típico da camada limite.

Com a referida ocorrência, as formulações da média de tempo das equações de camada limite são resolvidos. Com auxílio do manual de Brederode é feita a seguinte formulação. No que toca à espessura total da camada limite laminar δ_{99} , é dada pela equação seguinte:

$$\delta_{99,\text{laminar}}(x) = 5 \sqrt{\frac{\nu X}{U_\infty}} \quad (14)$$

Por outro lado, a espessura de deslocamento δ^* , indica a magnitude do deslocamento vertical do escoamento potencial, sendo simplificado pela presença da camada limite, é dada por:

$$\delta^* = 1,7208 \sqrt{\frac{\nu X}{U_\infty}} \quad (15)$$

Também poderá ser calculada a partir da seguinte equação:

$$\delta^* = \int \left(1 - \frac{U}{U_\infty}\right) dy \quad (16)$$

Tratando-se de uma formulação experimental, no entanto, para fins experimentais δ^* é usual ser formulada da seguinte forma:

$$\delta^* = \sum \left[\left(1 - \frac{U}{U_\infty}\right) \Delta y \right] \quad (17)$$

Para uma placa plana em um regime de escoamento laminar, verifica-se que δ^* é de aproximadamente 1/3 da espessura da camada limite local. A espessura de impulso θ indica a altura do escoamento livre de escoamento que seria necessária para compensar o déficit de momento de escoamento devido à força de corte na superfície. É dada por:

$$\theta = 0,664 \sqrt{\frac{\nu X}{U_\infty}} \quad (18)$$

Com o recurso ao número de Reynolds no local, permite a classificar o escoamento local em escoamento laminar ou turbulento. O número de Reynolds pode ser utilizado para quantificar a relação das forças viscosas e as forças de inércia presentes num escoamento de fluido.

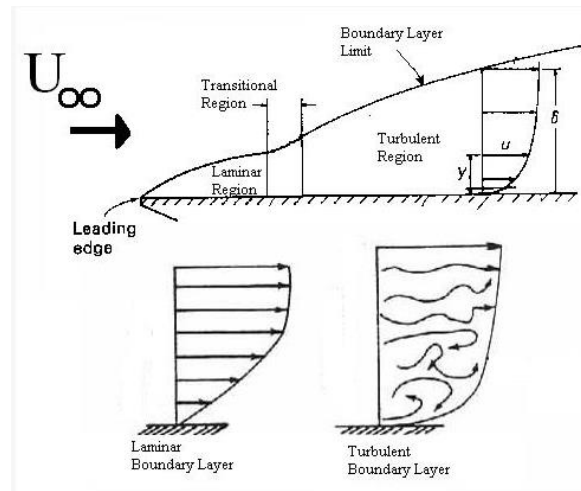


Figura 56: Típica transição da camada limite (www.aerospaceengineeringblog.com).

Depois de toda a teoria implícita à análise da camada limite do escoamento na secção de trabalho, neste seguimento, recorrendo à quantificação da velocidade do escoamento nesta secção. Para tal, existindo inúmeros métodos para a determinação da velocidade de fluidos, tais como, tubo de Pitot, fio quente, Venturi, diafragma, rotâmetro e tantos outros. Neste caso, o aparelho que mais se coaduna com a experiência é o tubo de Pitot.

O tubo de Pitot é um instrumento utilizado na medição, ou determinação indiretamente da velocidade de escoamento de fluidos incompressíveis, devido à sua fácil utilização e de fácil desenvolvimento. Este instrumento utiliza medições de grandeza relacionadas à velocidade, sendo largamente utilizado em modelos físicos de laboratórios de aerodinâmica, para a medição indireta de caudais em canais e ainda a velocidade dos aviões, medindo a velocidade de escoamento do ar. De uma forma sucinta o tubo de Pitot, tal como o nome indica, é um tubo aberto numa das extremidades, alinhado na direção do escoamento com um manómetro. Desta forma, medindo a pressão total do escoamento, esta pressão total poderá ser determinada da seguinte forma:

$$\text{Pressão total} = \text{Pressão estática} + \text{Pressão dinâmica}$$

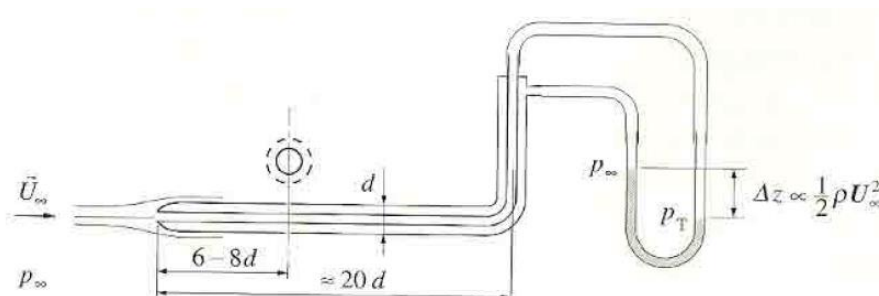


Figura 57: Representação gráfica de um tubo de Pitot-Estático (Brederode 2014).

Na figura anterior é feita uma representação gráfica de um tubo de Pitot-Estático. Este tipo de tubo é um tubo de Pitot-Total dentro de um tubo exterior concêntrico com furos radiais, dispostos num anel. Este tubo exterior mede a pressão ambiente do escoamento (pressão estática). A diferença de pressões entre o tubo interior (pressão total) e o exterior, origina a pressão dinâmica do escoamento na zona de leitura, $\frac{1}{2}\rho U_1^2$, que pode ser lida diretamente num manómetro em U.

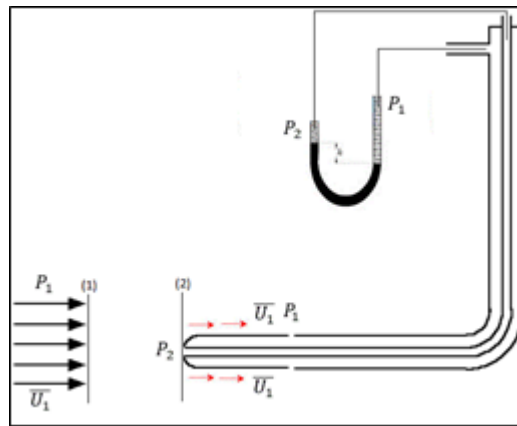


Figura 58: Esquema de um Tubo de Pitot-Estático.

Através da conhecida Equação de Bernoulli, aplicando-a entre os pontos (1) e (2) para a determinação da pressão estática, admitindo um escoamento incompressível e considerando a velocidade na boca do tubo (P_2) de nula ($U_2=0$) e atendendo a que a diferença de alturas entre os dois pontos é zero, $Z_1=Z_2=0$, obtemos:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{U_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} \quad (19)$$

ou seja, a pressão estática é igual a:

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho U_1^2 \quad (20)$$

Como a velocidade em P_1 é nula e em P_2 (pressão estática) é onde não há perturbação do escoamento, \bar{U}_1 . No manómetro em U, ou manómetro de líquido pode-se ler a diferença de pressões, através de:

$$P_2 - P_1 = \frac{1}{2}\rho U_1^2 \quad (21)$$

Caso seja conhecido a massa volúmica (ρ), pode-se assim determinar o U_1 .

$$U_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}} \quad (22)$$

Recorrendo a um tubo de Pitot é possível a obtenção do perfil de velocidade do escoamento no interior da seção de ensaios, presente no túnel de vento e dimensionado para o efeito. Entretanto, este sistema é acoplado a um sensor analógico de pressão diferencial, o Freescale Semicondutor MPXV7002, onde o controlador da National Instruments faz a obtenção dos dados e a sua conexão com o computador. O controlador faz também a simples correspondência da velocidade pretendida na área de trabalho, recorrendo ao LabView para esse efeito. Podemos ver na Figura 59 o tubo de Pitot móvel na sua posição.



Figura 59: Posicionamento do tubo de Pitot na secção de ensaios.

Um veículo em movimento na estrada ou pista, o seu comportamento em túnel de vento é o inverso, o veículo permanece estático e quer o fluido e o piso estão em movimento em relação a este. Desta forma, o escoamento entre o solo e a zona inferior do veículo requer um maior cuidado. Neste caso, o efeito da tensão de corte na zona inferior do veículo será maximizada, enquanto que, na parede do tapete rolante será minimizada devido à velocidade que este pratica, solidário com a velocidade do fluido. Em testes de túnel de vento existe diversas analogias na resolução e minimização destes efeitos, na figura seguinte são apresentados algumas dessas técnicas.

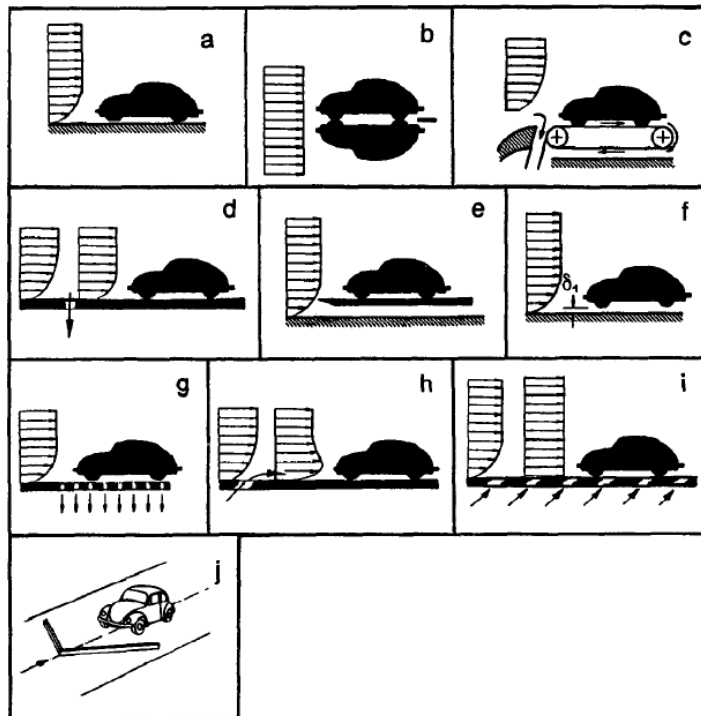


Figura 60: Técnicas de simulação em túnel de vento (Hucho & Sovran 1993).

Em **a**), não existe qualquer controlo sobre a camada limite, por outro lado, em **h**) e **i**) existe um sopro tangencial de escoamento adicional para controlar o escoamento. Quanto a **b**) é caracterizado pela redução da camada limite na zona inferior do modelo.

Em **d**) e **g**) o escoamento é sugado quer numa zona inicial da placa ou ao longo desta, permitindo assim o seu controlo. Em **c**), o escoamento é caracterizado por um regime laminar de perfil de velocidade constante. Quer ao produzir uma escapatória ou mesmo um sopro do escoamento, esta combinação permite a redução da espessura da camada limite. Em **e**) e **f**) o controlo do escoamento é feito pela elevação quer da placa ou mesmo do modelo, permitindo assim que a camada limite não influencie os resultados. Quanto a **j**), a introdução da barreira frontal ao modelo, faz com que o gradiente de velocidade seja uniformizado (Hucho & Sovran 1993; Tropea et al. 2007).

Da forma **a**), apesar de ser a mais adequada na simulação das condições reais e com o plano da pista em movimento (Willemsen et al. 2011). A correia em movimento representa (pelo menos em princípio) de forma quase perfeita para simular a estrada (Hucho & Sovran 1993). A perda de velocidade na camada limite é quase completamente ausente ao longo do comprimento total da pista de rolamento e a podendo ser adicionado a rotação das rodas. No entanto, a desvantagem é que a suspensão do veículo não é muito simples o seu teste.

O efeito da rotação das rodas sobre as forças aerodinâmicas são combinadas com a correia em movimento onde transmite este movimento às rodas por meio de atrito. Em geral, a resistência aerodinâmica devido à rotação da roda é reduzida, mas a magnitude da redução da resistência depende fortemente do tipo de carro e na distância ao solo do veículo. O mais próximo do solo, o mais acentuado o efeito das rodas de rolamento será (Willemsen et al. 2011).

Para que o tapete mantenha uma velocidade idêntica ao da velocidade do túnel de vento, ou seja 7,405 m/s, foi necessário a determinação da velocidade necessária do próprio motor. O motor possui uma velocidade angular (ω) máxima de 104,72 rad/s (1000 rpm). Com a ligação direta ao tambor é possível a obtenção da velocidade desejada.

$$v = \omega \times r \quad (23)$$

Onde, v representa a velocidade do tapete necessária e r o raio do tambor. Utilizando um tambor com um diâmetro de 110 mm, obtém-se assim, uma velocidade angular de 67,318 rad/s (642,821 rpm).

O motor utilizado é o 23HS2021 da empresa MOONS' INDUSTRIES (EUROPE) S.R.L., com as respectivas especificações na tabela seguinte.

Tabela 3: Especificações do motor de passo da Moons'.

Stepping Motor Type 23HS2021-08 WO-85840 MOONS								
L	Ângulo de passo	Corrente nominal	Binário de suporte	Resistência por fase	Indutância por fase	Número de fios	Inércia do rotor	Peso
mm	°	A	N.m	Ω	mH	-	g.cm ²	g
56	1.8	2.8	1.24	0.9	2.5	4	300	600

3.6. DIMENSIONAMENTO DA BALANÇA AERODINÂMICA

Para obter assim os valores da respetiva força de resistência (F_x) e força de sustentação (F_y), foi elaborado um sistema capaz de quantificar essas forças. Com a obtenção das forças podemos quantificar os respetivo coeficientes, coeficiente de resistência (C_d) e do coeficiente de sustentação (C_l), na mesma gama de Re . Este sistema é constituído por uma balança exterior aplicada ao modelo, com duas células de carga uma para cada força. No túnel de vento, referido anteriormente, existe uma balança de trabalhos em curso, desta forma permite não só a minimização dos custos, calibração, ou mesmo o tempo na troca e dimensionamento de um novo sistema. O referido sistema foi modelado, recorrendo ao programa *SolidWorks 2014*, esquematizado na seguinte figura, permitindo apenas a quantificação do C_d .

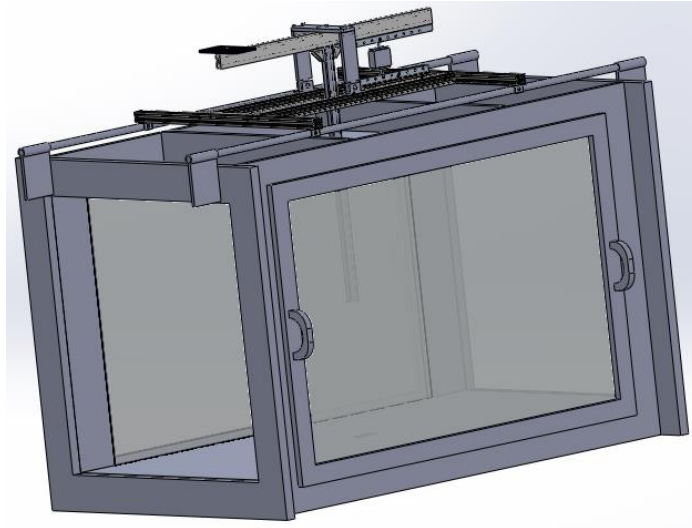


Figura 61: Modelação tridimensional do túnel de vento e da balança.

Numa primeira fase, foi necessário fazer uma análise relativamente à localização das forças e suas grandezas, a seguinte figura, apresenta um perfil tipo de um modelo desta categoria.

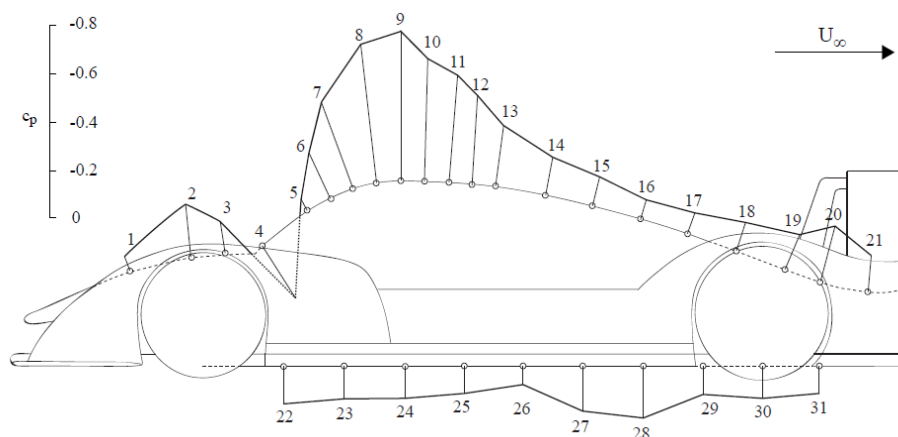


Figura 62: Perfil de pressões do modelo apresentado por Stevenson em 2012.

O ponto onde o carro irá ser posicionado é em (9), na boca de admissão de ar para o motor. Nesta zona garante-se a devida resistência estrutural, simulando também o centro de massa do veículo.

De seguida, é necessário definir o referencial aplicado a todo o sistema com as respetivas forças resultantes (figura 63).

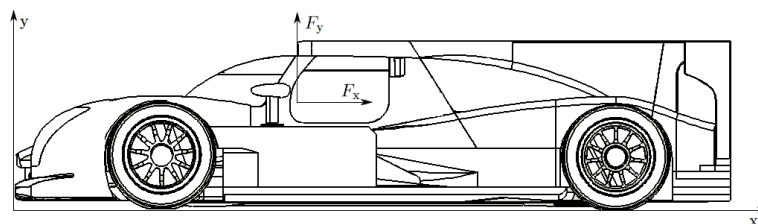


Figura 63: Referencial implementado nos ensaios aerodinâmicos.

Com todo o referencial definido, passamos agora à balança propriamente dita. Em análise à balança existe, esta é constituída por perfis de alumínio da *MiniTec*, o 30x30, o 19x45 e por último o 19x32. Este conjunto utiliza como recurso um binário, permitindo uma maior precisão de todo o sistema, na quantificação da força de resistência. Na próxima figura é possível visualizar os diversos componentes e o seu funcionamento.

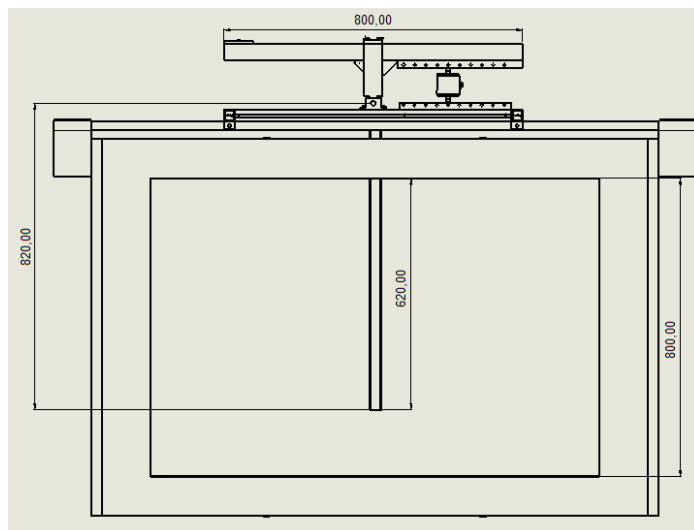


Figura 64: Balança com dimensões de atravancamento.

A célula de carga tem dez combinações possíveis, possibilitando o ajuste adequado à experiência em curso. As posições estão distanciadas entre si 30 mm, consentindo um deslocamento de L2 de 80 mm a 350 mm.

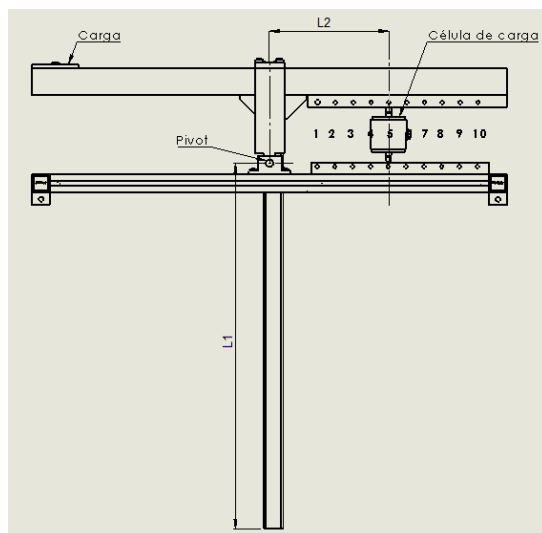


Figura 65: Desenho da estrutura da balança, com os respetivos componentes.

Como forma de quantificação do F_x , é utilizado uma relação entre L1 e L2, apelidada de R_{F_x} , ou seja, a relação entre o comprimento (braço) inferior e superior, $L1/L2$. Em que L2 será

equivalente ao $(N_{\text{posição}} \times 30) + 50$, em que $N_{\text{posição}}$ representa o número da posição da célula de carga. Esta relação é apresentada na próxima equação.

$$R_{\text{FX}} = \frac{L1}{L2} = \frac{L1}{(N_{\text{posição}} \times 30) + 50} \quad (24)$$

Para um $L1=650$ mm, obtém-se assim a respetiva relação entre $L1/L2$ (tabela 4).

Tabela 4: Relação de $L1/L2$.

$N_{\text{posição}}$	$L1/L2$
1	10,250
2	7,455
3	5,857
4	4,824
5	4,100
6	3,565
7	3,154
8	2,828
9	2,563
10	2,343

A metodologia para a quantificação do F_y será mais simples e direta, ou seja, adicionando uma célula de carga ao perfil vertical, colocando a célula em tração com a resultante da força de *downforce* (figura 66).

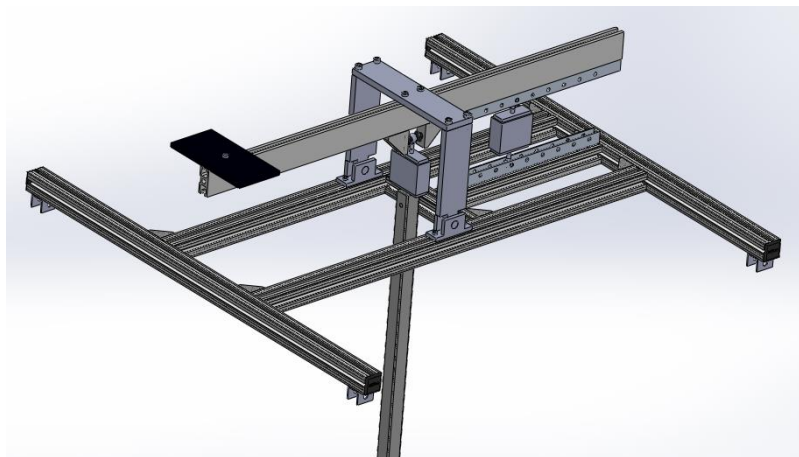


Figura 66: Modelação tridimensional da balança para o Cd e o Cl.

Para a quantificação é usado duas células de carga (figura 67), uma para cada força, da empresa *FGP Sensors & Instrumentation*, do tipo FN3148, com as seguintes características.



Figura 67: Célula de carga FN 3148 (www.meas-spec.com).

Caraterísticas

- Gama de operação: 0-50 N;
- Funciona em compressão e tração;
- Precisão de 0.05 % FS;
- Sistema de stop mecânico;
- Modelo de alto nível de saída com amplificador integrado.

Com as duas forças quantificadas, é possível verificar o seu efeito nos coeficientes de resistência (C_d) e de sustentação (C_l).

$$C_d = \frac{2 \times F_x}{\rho \times U^2 \times A} \quad (25)$$

$$C_l = \frac{2 \times F_y}{\rho \times U^2 \times A} \quad (26)$$

Onde A representa a área frontal do veículo, U a velocidade do fluido e ρ a massa volúmica deste. Estes coeficientes são quantificados pelo somatório da resultante estática e pela resultante da dinâmica do fluido. Esta última resultante é analisada na subsecção 3.9, onde se irá fazer um estudo da viscosidade no efeito desta no coeficiente total.

3.7. MICROSCOPIA

Com o recurso ao microscópio eletrónico de varrimento (SEM), disponível na Faculdade de Ciências da Saúde, foi possível a análise visual da morfologia das várias superfícies. O SEM é uma ferramenta muito útil para a visualização estrutural dos materiais, no entanto, as amostras precisam de uma preparação prévia. Devido à característica dos materiais utilizados, ou seja, opacos, estes não permitem a utilização de um microscópio convencional, microscópio ótico por exemplo (tabela 5). Usando o SEM, com o propósito de visualização da morfologia da superfície e a sua espessura, executando o processo da mesma forma, apenas com alteração da orientação das amostras. O SEM permite a obtenção de uma imagem tridimensional e ampliada da amostra a partir da interação de um feixe de eletrões com o material. Desta forma, foi utilizado um recobrimento por deposição de iões de metálicos, ouro (Au), de forma a tornar as amostras condutoras elétricas e de esta forma, serem passíveis de serem analisadas por esta técnica de microscopia.



Figura 68: Aparelho para o recobrimento de iões metálicos de Au, sobre amostras não condutoras.

Após o recobrimento com ouro no evaporador de metais Quorum Q150R ES (figura 68), as amostras foram montadas em porta-amostras de alumínio e colocadas no microscópio eletrônico de varrimento (SEM) Hitachi S-3400N (figura 69), sendo observadas com uma voltagem de aceleração de 20 kV e com ampliações que variam das 55 às 3500 vezes.

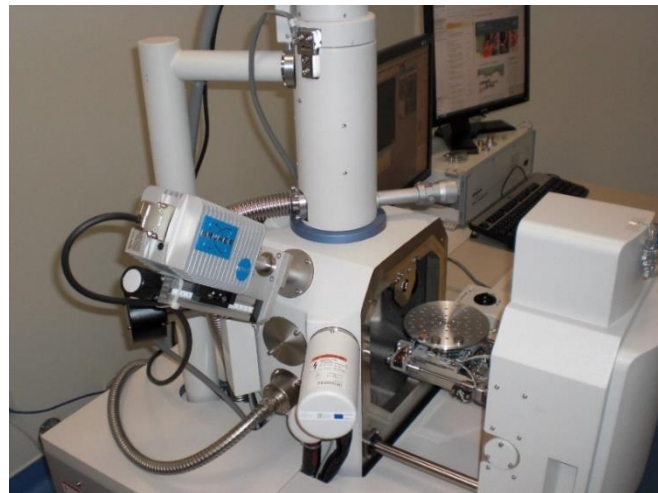


Figura 69: Câmara do SEM, com as amostras instaladas e prestes a serem enclausuradas.

Foi usado o SEM, com o propósito visualizar a morfologia da superfície e a sua espessura, executando o processo da mesma forma, apenas se altera a orientação das amostras. Na próxima tabela é possível ver os vários materiais.

Tabela 5: Materiais aplicados.

Arena	Jaked	Cortiça	Vinil	Speedo
			  <p data-bbox="896 667 1117 734">1080-M261 Matte Dark Grey</p>	

3.8. ANÁLISE NUMÉRICA

Nesta secção é apresentado uma análise numérica do protótipo de Le Mans, como forma de obtenção das grandezas dos perfis de pressão e os perfis de velocidades. Para o efeito, com o recurso ao programa *Ansys Fluent versão 14.5*, é possível a sua simulação. Numa fase inicial foi elaborado um modelo padrão, servindo de modelo de comparação, através do método usado na investigação numérica do corpo Ahmed.

Primeiramente foi introduzido o protótipo de Le Mans no programa, preparando a superfície, introduzindo as fronteiras e suas condições (saída, entrada, solo, parede e simetria), entre outras.

3.8.1. Domínio do modelo

Com a inserção do modelo na escala real no programa, procedeu-se à aplicação de uma condição de fronteira que abraçasse todo o modelo. Os passos seguintes foram executados com apoio do método do corpo de Ahmed. O veículo tem um comprimento de 4650 mm, sendo utilizado como o comprimento L característico de simulação. O tamanho do domínio computacional em torno do carro é $8L$ de comprimento, largura e $2,5L$ e $2,5L$ altura. Os $8L$ são repartidos por $5L$ atrás do veículo, enquanto que, a secção em frente ao modelo é $2L$. A geometria do modelo LMP1 é baseada na proporção do tamanho total do protótipo. Na figura seguinte é apresentado todas as dimensões do domínio computacional.

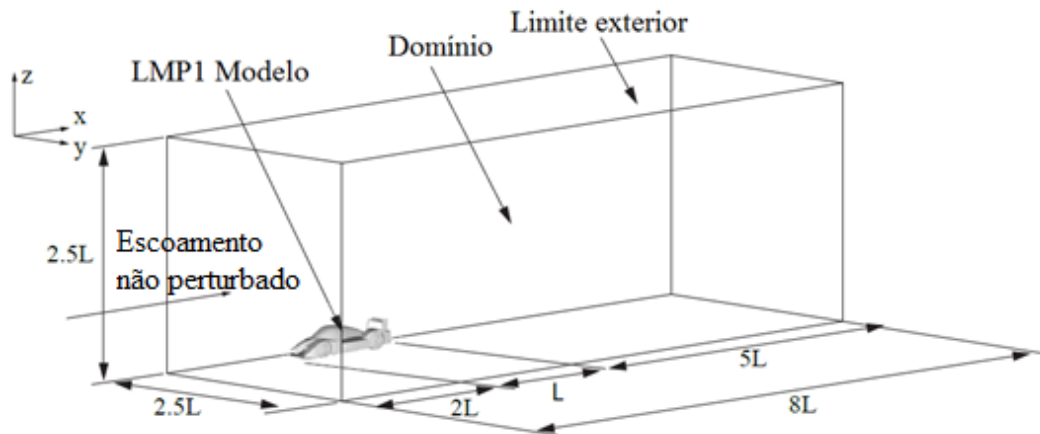


Figura 70: Domínio expressa em termos do comprimento L do corpo do protótipo.

3.8.2. Criação da malha

Na presente secção é desenvolvido uma malha para toda a superfície do modelo. Esta malha é diversificada ao longo de toda a superfície, obedecendo a curvaturas, por exemplo. O maior espaço da malha é aproximadamente 50 mm, contrariamente a malha mais fina é representado por 0,5 milímetros. Foi usado a função proximidade e curvatura, como função avançada do tamanho, apesar da sua maior carência de memória computacional, permite uma maior aproximação da realidade. Foram usadas seis regiões com refinamento de malha diferente, onde a interior possui menos dimensão de malha, por outro lado a exterior possui maior tamanho de malha.

3.8.3. Condições de fronteira

Com a condição estacionária inicial do veículo, é necessário a implementação de outras condições. No plano frontal ao veículo ou *velocity_inlet* foi aplicada uma velocidade constante de $U=90$ m/s. No plano adjacente ao da entrada do escoamento, está o *velocity_outlet* ou o plano de saída. Estas duas condições permitem a ligação com entrada e saída do escoamento. Contudo, é importante a referência da pressão empregue a este plano. Para que a simulação se aproxime da realidade e com a parte experimental, o plano do solo tem uma velocidade igual à velocidade de entrada $U_1=90$ m/s.

Um aspeto que foi equacionado foi a simulação da deformação do pneu consoante o aumento de carga por parte do *downforce*. Como foi referido anteriormente, a rotação das rodas provoca uma elevada proporção na resistência total do veículo. Portanto, a sua modelação é importante para a obtenção de uma aproximação fiel à realidade. É proposto por vários autores, a modelação por parte das propriedades elásticas dos pneus, expressa pela Lei de Hooke, onde relaciona a deformação causada por uma força, originando assim, a elasticidade.

$$\Delta L = \frac{F}{K} \quad (27)$$

Onde ΔL [m] é o deslocamento no eixo vertical, F [N] é o peso estático do veículo e K [N/m] a constante de mola do pneu, esta constante está compreendida entre 200 e 300 N/m, não existe qualquer valor definitivo por parte dos fabricantes de pneus. No entanto, considerando uma distribuição de carga de 45 % no eixo da frente e 55 % no eixo traseiro. Obtém-se um deslocamento vertical máximo de 11,027 mm e 11,750 mm em ambos os eixos, para um K de 200 N/m, resultante da força de *downforce* máxima de 5000 N. De salientar o facto de atualmente estes pneus possuírem no seu interior azoto (N_2). Consoante o aumento de temperatura gerado pelo rolamento do pneu existe uma expansão do gás no interior, a equação dos gases ideais, expressada a seguir.

$$P \times V = n \times R \times T \quad (28)$$

Em que P e V são a pressão (Pa) e volume (m^3) internos do pneu. Quanto ao n é o número de moles de N_2 . R e T , representam a constante universal dos gases ideais ($R=287,053 \text{ m}^2/\text{Ks}^2$) e a temperatura em Kelvin (K), respetivamente. Desta forma, com o incremento da temperatura, para um volume constante, a pressão irá aumentar igualmente, colmatando este aumento da temperatura. Por sua vez, devido à capacidade limitada computacional, foi desprezado a deformação dos pneus consoante o aumento de carga, sendo seccionado o pneu na zona de deformação para um deslocamento máximo de 10mm.

Como simplificação de todo o sistema, este é seccionado num plano transversal, apelidado de simetria ou *symmetry*. A parede superior ou *symmetry_top*, e a parede lateral ou *symmetry_side*, são as restantes condições de fronteira. A aplicação de movimento rotacional às rodas, devido à importância de as rodas serem responsáveis por grande parte da resistência total, aproximando mais a simulação à realidade. Desta forma, foi necessária algum tempo com a modelação da malha da roda com a malha da vizinhança. Permitindo uma estimativa exata da resistência provocado por estas zonas. Ao modelo é-lhe atribuído o nome de *ahmed_body*. O escoamento de ar é assumido como turbulento, incompressível, não se considerando a transferência de calor.

3.9. EFEITOS INVÍSCIDOS NO C_D E C_L

Nesta secção é feito uma caracterização aerodinâmica da secção média do modelo, recorrendo a tomadas de pressão estáticas. A sua localização estratégica permite esboçar um perfil de pressões em torno do veículo. Paralelamente, com fios (“*tufts*”) de lã e um jato de fumo seria possível a visualização do escoamento em torno do veículo. Na técnica de fumo, esta pode ser completada com sensores para quantificar as variações (Ristic 2007).

A análise que se segue é feita com base no guia de trabalhos laboratoriais Jorge Barata (1995), referente ao ensaio de um perfil NACA 0012.

O coeficiente de pressão (C_p) ao longo da superfície é dado por:

$$C_{p_i} = \frac{P_i - P_{s,\infty}}{q_\infty} \quad (29)$$

Em que, q_∞ , é a diferença entre a pressão total de referência ($P_{t,\infty}$) e a pressão estática de referência ($P_{s,\infty}$). No entanto, o coeficiente pressão pode ser expresso da seguinte forma:

$$C_{pi} = \frac{P_i - P_{s,\infty}}{P_{t,\infty} - P_{s,\infty}} \quad (30)$$

Tendo em consideração o ângulo de ataque nulo para o veículo, ou seja, $\alpha=0$. Desta forma, recorrendo a gráficos que esbocem a evolução das distribuições de pressões, antes disso, recorrendo a diversas expressões para o auxílio nesta representação.

Primeiramente, a componente segundo OY da força que atuam sobre o comprimento da superfície, representada na próxima expressão.

$$C_y = - \int_0^1 (\Delta C_p)_{\frac{x}{c}} d\frac{x}{c} = - \int_0^1 (C_{ps} - C_{pi}) d\frac{x}{c} \quad (31)$$

onde, C_{ps} e C_{pi} representam os coeficientes de pressão superior e inferior do veículo e x/c representa a relação entre a tomada de pressão e o comprimento máximo do veículo. O C_y corresponde à área compreendida entre as curvas C_{ps} e C_{pi} em função de x/c .

O mesmo se pode fazer para a componente C_x .

$$C_x = - \int_{\frac{y_i}{c}}^{\frac{y_s}{c}} (\Delta C_p)_{\frac{y}{c}} d\frac{y}{c} = - \int_{\frac{y_i}{c}}^{\frac{y_s}{c}} (C_{pa} - C_{pp}) d\frac{y}{c} \quad (32)$$

Neste caso C_{pa} e C_{pp} , são os valores do coeficiente de pressão nos pontos anteriores e posteriores do veículo à distância y/c .

Depois de esboçados os gráficos de C_y e C_x , com a respetiva determinação das áreas, poder-se-á proceder à determinação do CL.

$$Cl = C_y \times \cos \alpha - C_x \times \sin \alpha \quad (33)$$

Como o ângulo de ataque é igual a zero, a equação 33 é agora definida como:

$$Cl = C_y \times \cos \alpha \quad (34)$$

Caso se tratasse de um corpo bidimensional podia-se calcular o C_d e o Cl aproximado, através medida na linha central do veículo. Como os efeitos tridimensionais são apreciáveis neste ensaio optou-se por considerar, recorrer ao cálculo do deficits de quantidade de movimento na esteira para calcular o C_d , no entanto, não se consegue calcular o Cl desta forma. A seguinte expressão permite o cálculo do C_d .

$$C_d = \frac{(U_1^2(\Delta z \Delta y) - \int U_2^2(y, z) dz dy)}{\frac{1}{2} \times U_\infty^2} \quad (35)$$

Antes mesmo de se iniciar o contributo da parte da viscosidade no C_L e C_D , foi instalado 25 tomadas de pressão em torno do veículo, 14 por baixo e 9 por cima, 1 tomada á frente e outra na traseira, esquematizado nas figuras seguintes.

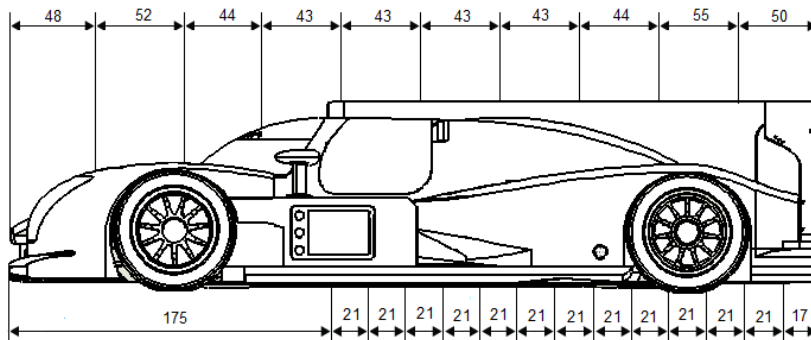


Figura 71: Localização das tomadas de pressão estática do veículo, vista lateral.

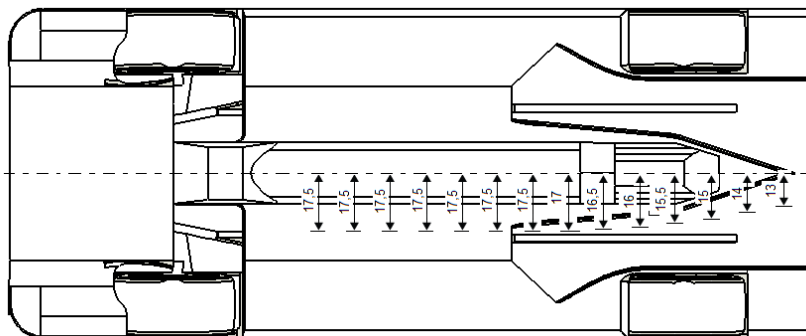


Figura 72: Localização das tomadas de pressão estática do veículo, vista inferior.

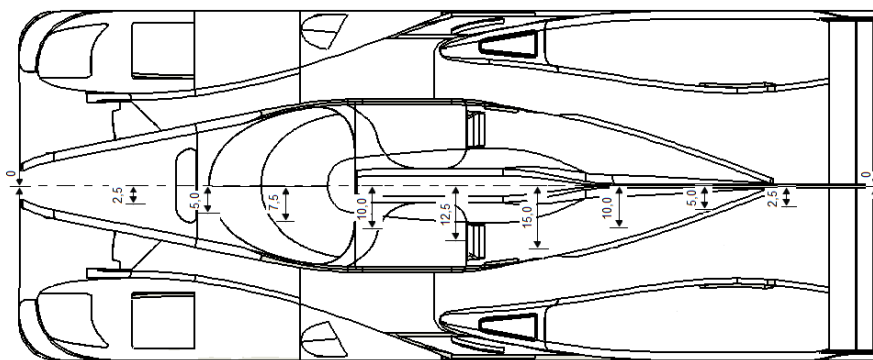


Figura 73: Localização das tomadas de pressão estática do veículo, vista superior.

Esta distribuição foi obtida, recorrendo ao programa *SolidWorks 2014*, para o estudo do comportamento do escoamento. Ao libertar de uma forma continua uma gota de tinta, *streakline*, é possível a visualização do seu comportamento. Entretanto, as diversas tomadas de pressão estática são conectadas por meio de tubos flexíveis a um multimanómetro. Na outra extremidade são colocados tubos de 1,4 mm de diâmetro interno em latão, a fim de permitir uma melhor fixação das tomadas de pressão.

3.10. CENTROS DE AERODINÂMICOS E DE PRESSÃO

Tal como o centro de gravidade (CG), do veículo é responsável pela força da gravidade, ou seja, comportando-se como se o seu peso estivesse concentrado num único ponto, daí o seu nome. A localização do CG é estudada, tendo em vista a minimização do momento provocado pela tração do veículo. Neste seguimento, o centro aerodinâmico (CA), é igualmente um ponto ao qual o momento de picada, resultado das forças aerodinâmicas. Tendo em consideração as abordagens feitas quer por Barata 1995 e Brederode 2014 é feito uma abordagem para esta situação. Na figura 74, é feito um esquisso da localização de CG, CA e o respetivo coeficiente de sustentação (C_L).

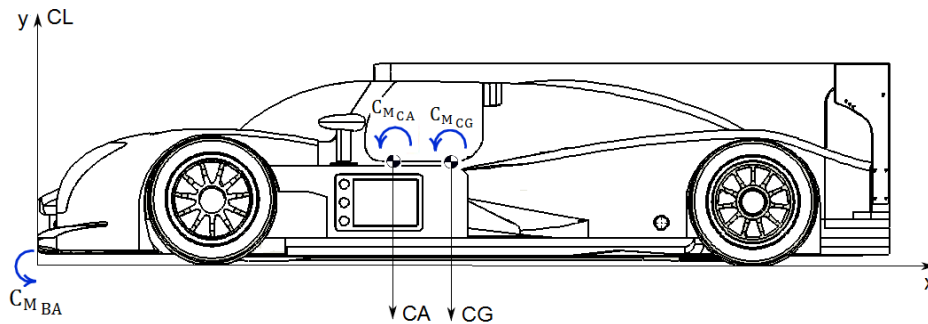


Figura 74: Localização dos centros de Gravidade e Aerodinâmico.

Tendo por base a Lei de propagação de momentos, para o referencial OXY, definindo o coeficiente de momento do centro de gravidade C_{MCG} e coeficiente de momento do centro aerodinâmico C_{MCA} , como:

$$C_{MCG} = C_{MBA} - X_{CG} \times C_L \quad (36)$$

$$C_{MCA} = C_{MBA} - X_{CA} \times C_L \quad (37)$$

No entanto, pretende-se que estes coeficientes sejam maximizados, permitindo assim, que as rodas dianteiras ou mesmo as rodas traseiras mantenham o contato permanente com a estrada, sem que haja a possibilidade de ascensão da frente ou mesmo efeito no eixo traseiro. Onde X_{CG} e X_{CA} , representam respetivamente a localização do centro de gravidade e a localização do centro aerodinâmico.

Todavia, é de extrema importância a determinação do centro aerodinâmico (X_{CA}), representado pela derivação do coeficiente de momento em torno do centro do veículo (C_{MCA}), em ordem ao C_L .

$$x_{CA} = \frac{dC_{MCA}}{dC_L} \quad (38)$$

Calculando a localização do centro aerodinâmico, tendo em consideração a localização do centro de gravidade, podemos escrever da seguinte forma:

Desenvolvimento experimental

$$\frac{dC_{M_{CA}}}{dC_L} = \frac{dC_{M_{CG}}}{dC_L} - (X_{CA} - X_{CG}) = 0 \quad (39)$$

$$(X_{CA} - X_{CG}) = \frac{dC_{M_{CG}}}{dC_L} \quad (40)$$

Podendo ser escrito em função do ângulo de ataque do veículo

$$(X_{CA} - X_{CG}) = \frac{\frac{dC_{M_{CG}}}{d\alpha}}{\frac{dC_L}{d\alpha}} \quad (41)$$

No entanto, pretende-se que o veículo tenha um ângulo de ataque (α) de zero, vem:

$$X_{CA} = X_{CG} \quad (42)$$

Capítulo 4 - Análise e discussão dos resultados

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos do perfil de velocidades ao longo da secção de ensaio, procedido da conceção do tapete rolante. São apresentadas as imagens tridimensionais e as espessuras médias dos vários materiais através da variação da ampliação do SEM. Em termos de modelação numérica são apresentados os perfis do C_p e da velocidade ao longo de toda a superfície do modelo, com a obtenção da *downforce* e a resistência aerodinâmica. No final do capítulo é apresentado os respetivos gráficos do C_p para cada material e a determinação dos respetivos C_d e C_l .

4.1. VELOCIDADE DO TÚNEL DE VENTO

O rácio de bloqueio resultante com o veículo e plano inferior da área da secção de testes é de 7,03 %, com um A_M de 0,045 m² e um A_T de 0,64 m² de área projetada máxima frontal. O efeito das paredes a jusante sobre estruturas é ignorado para a esteira resultante, fatores de correção de bloqueio de solido no entanto adequadas sejam aplicadas.

4.2. TAPETE ROLANTE

4.2.1. Camada limite

Introduzindo um tubo de Pitot no interior da secção de testes, para efeito da obtenção do perfil de velocidade do escoamento. O tubo de Pitot irá ser posicionado a meio da secção transversal, ou seja 700 mm e com deslocamento vertical. A caracterização do perfil de velocidades é efetuado à velocidade pretendida de 7,405 m/s, obtida na subsecção 3.4.1. O perfil de velocidades é quantificado em intervalos de 10 em 10 mm, representado na figura 75, com os respetivos valores no Anexo 5.

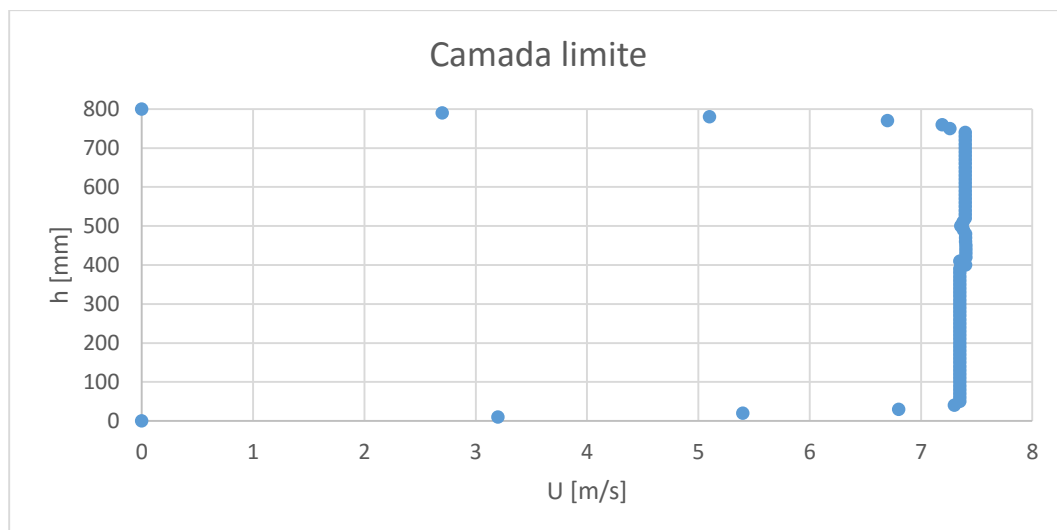


Figura 75: Perfil de velocidades ao longo da secção de ensaios.

Pela observação gráfica é possível verificar o comportamento do escoamento praticamente uniforme entre os 50 e os 750 mm. Podendo afirmar-se que a camada limite tem 50 mm de altura na respetiva posição. De mencionar que, devido à influência do tubo de Pitot na zona superior o escoamento não apresenta o mesmo comporta que na zona inferior.

4.2.2. Tapete rolante propriamente dito

Depois de quantificada a camada limite ao qual o sistema opera, foi definido a altura máxima do tapete de 150 mm. Esta altura é definida pelo diâmetro dos tambores (110 mm) e toda a parte de controlo. Os tambores são executados em PVC com 220 mm de comprimento. Por outro lado a parte de controlo é feita por dois Arduinos um para o controlo (Arduino UNO) e o de visualização (Arduino Mega).

No que se refere ao tapete este é produzido num tecido de lã cardada, cedido gentilmente pelo departamento de Engenharia Têxtil da UBI. Na figura seguinte é possível visualizar o tapete rolante final.

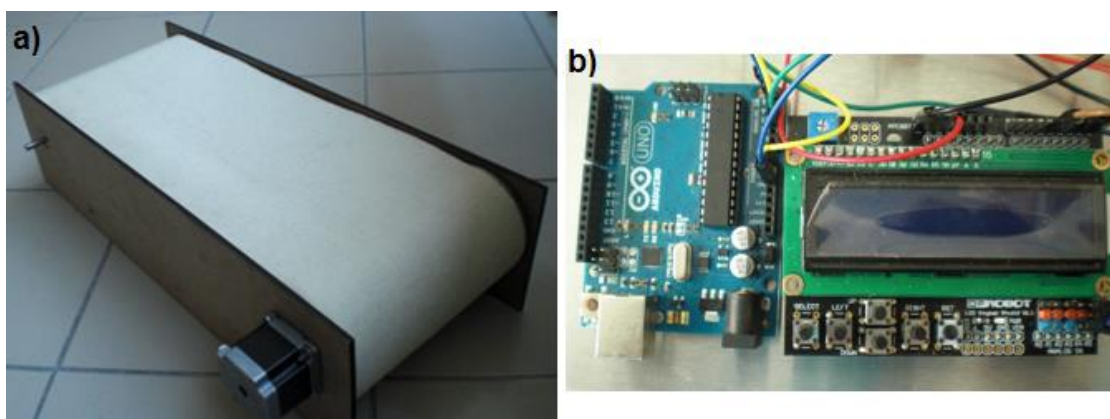


Figura 76: a) Tapete rolante e b) controlador e respetivo visualizador.

4.3. OBTENÇÃO DO CD E CL TOTAL

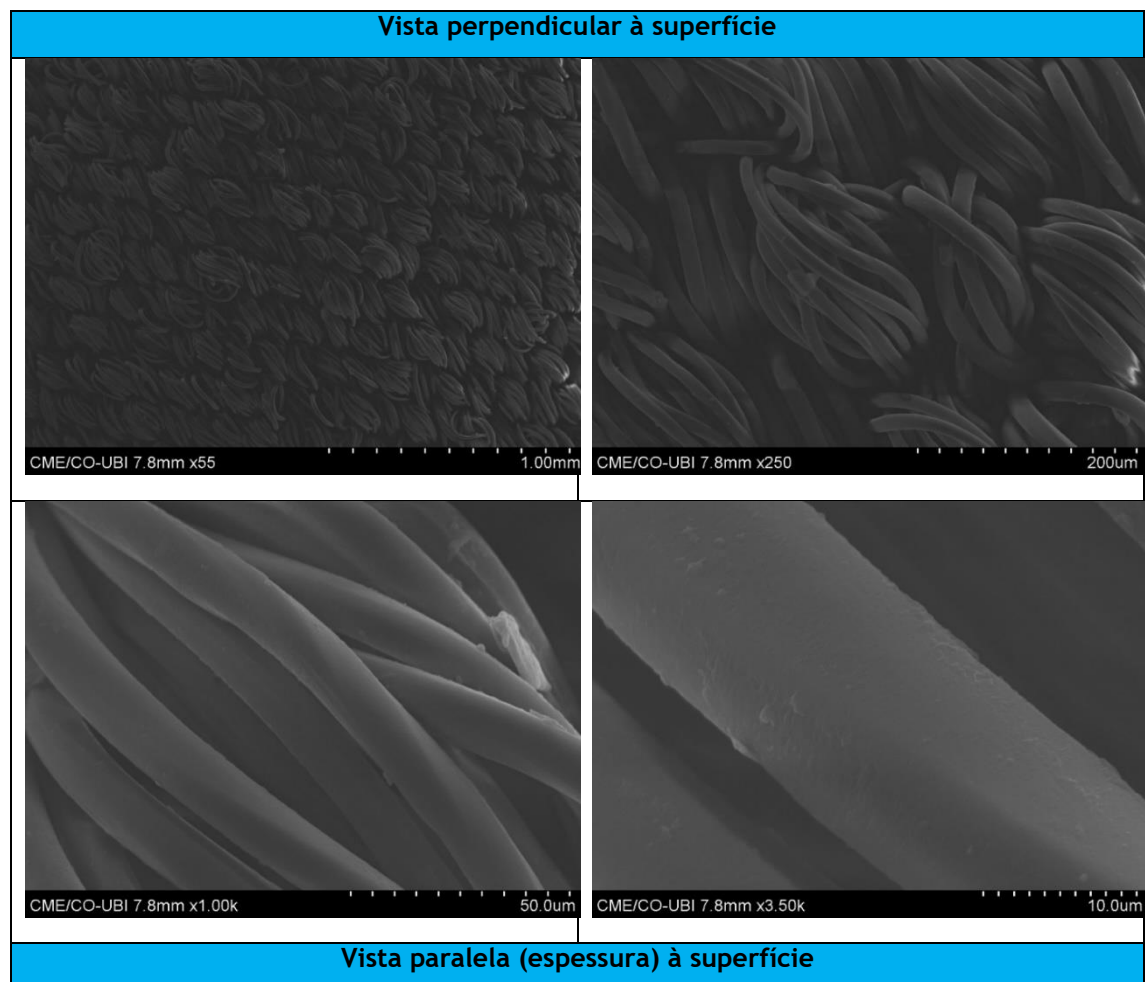
Estes resultados não estão de acordo com os pré-estabelecidos, devido a deficiências encontradas nos materiais do laboratório, nomeadamente, falta de sensibilidade na balança.

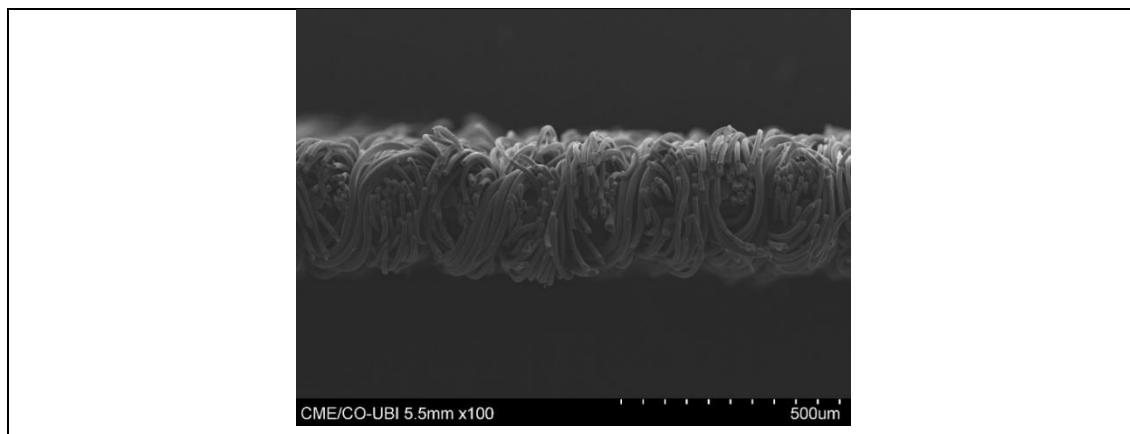
4.4. MICROSCOPIA

Nesta secção é apresentado um estudo da microscopia dos diversos materiais, com o objetivo de análise da sua estrutura (fisionomia e espessura). Nas subsecções seguintes, serão apresentadas imagens de SEM, para o Arena, Jaked, Cortiça, Vinil e Speedo, em vista perpendicular e paralela à superfície. Na figura 77 da subsecção 4.4.6, é apresentado um gráfico com as espessuras médias dos vários materiais.

4.4.1. Fato da Arena

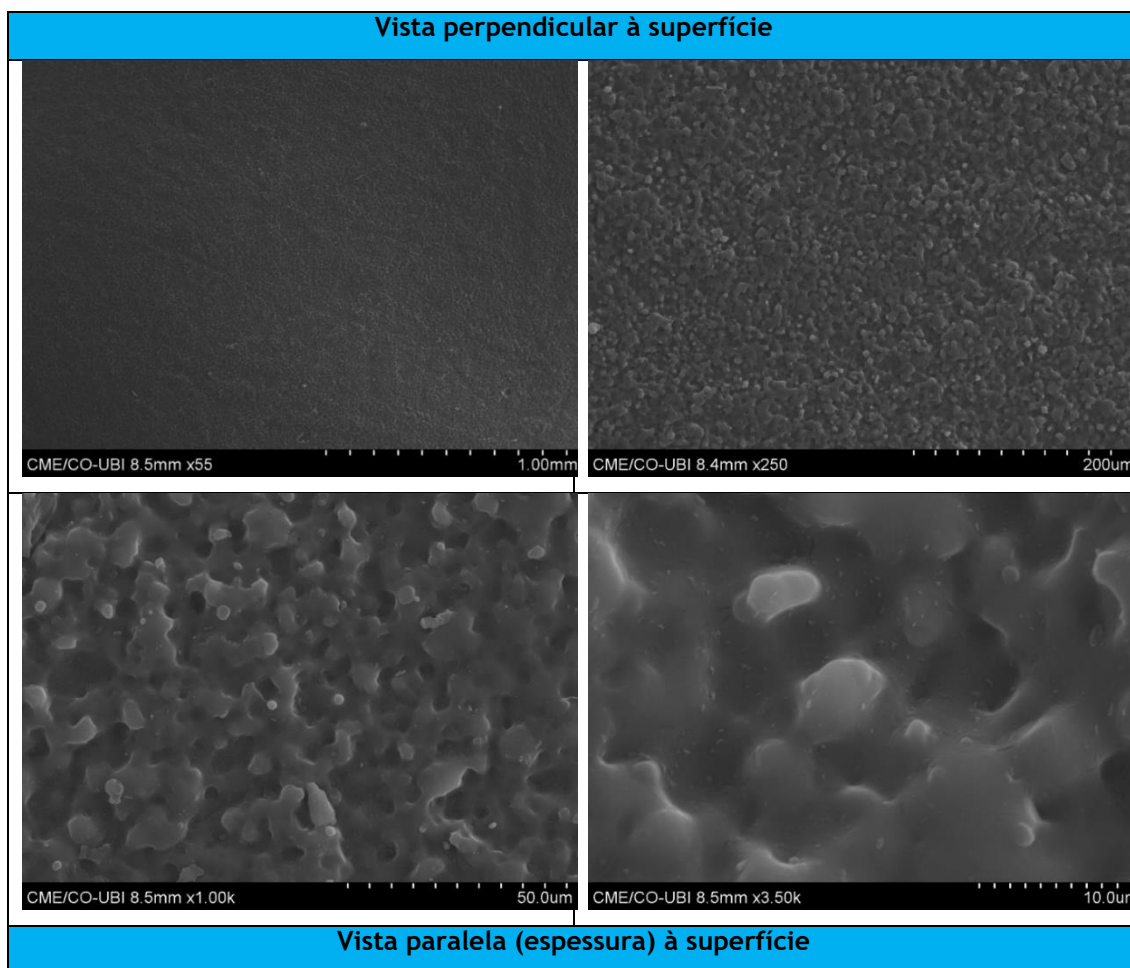
Tabela 6: SEM, mostrando a fisionomia da superfície da Arena.

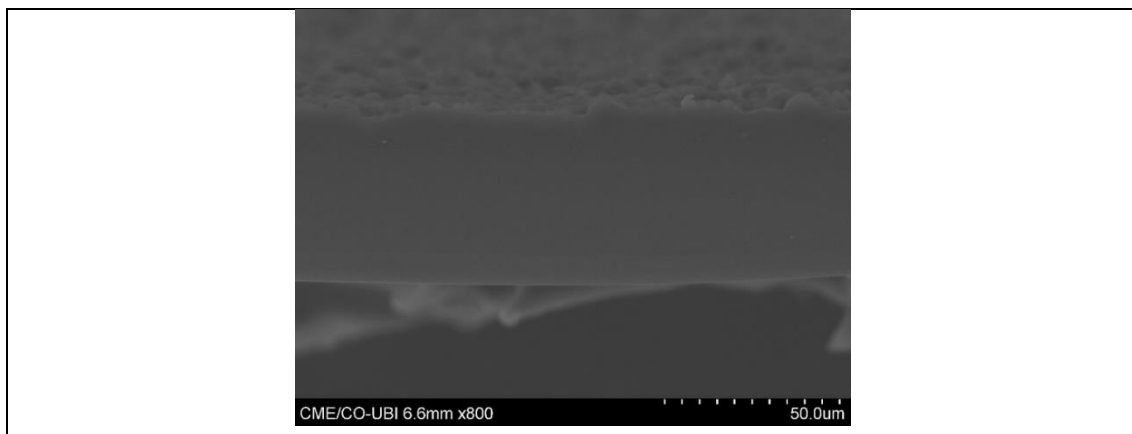




4.4.2. Fato da Jaked

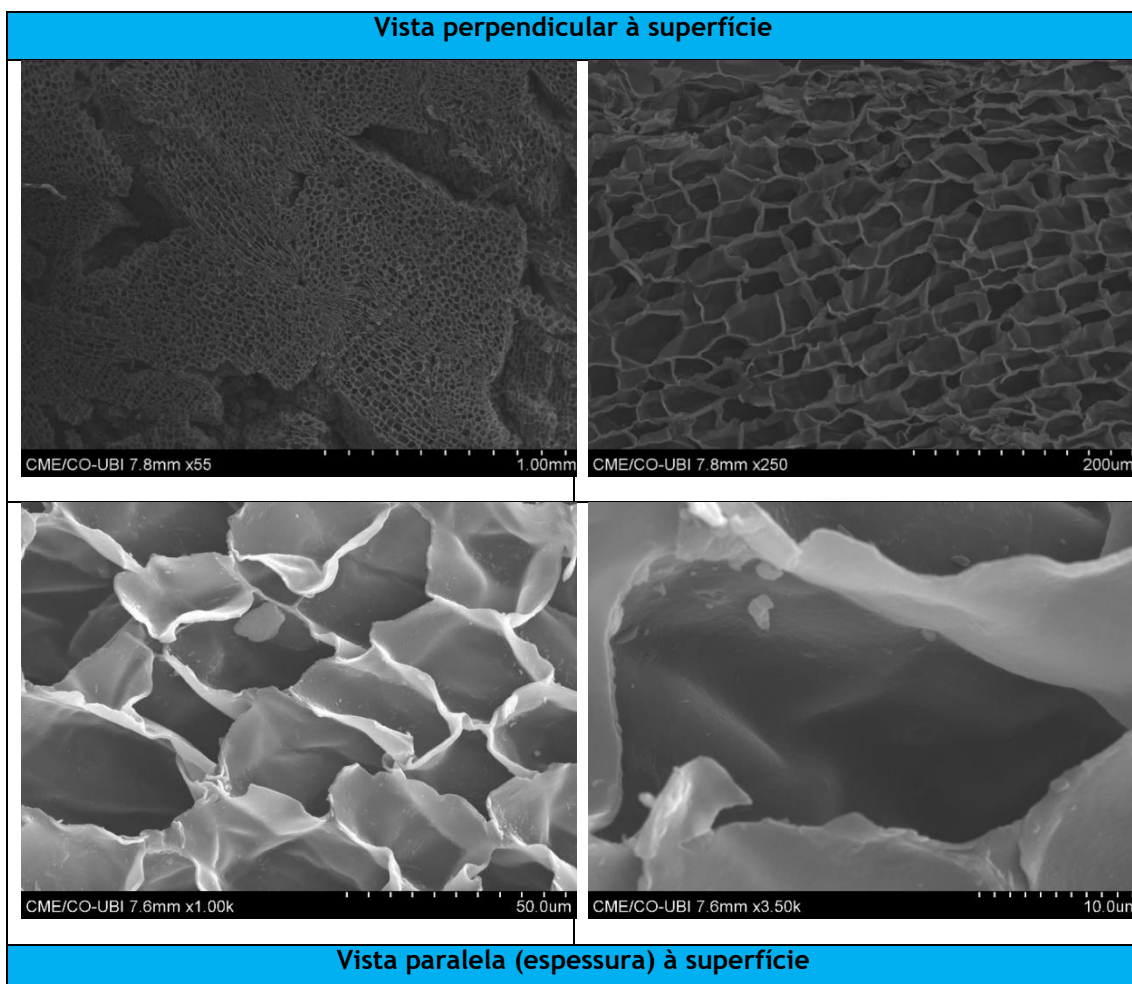
Tabela 7: SEM, mostrando a fisionomia da superfície da Jaked.

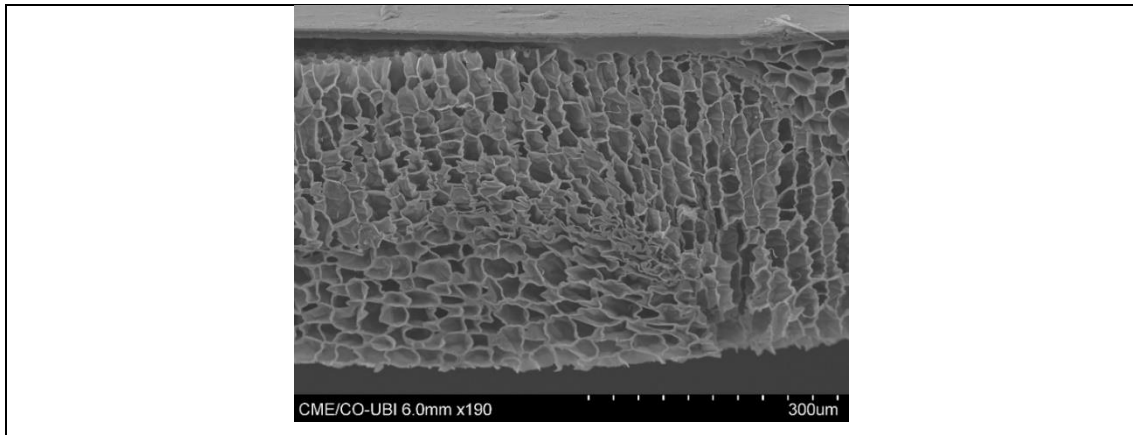




4.4.3. Cortiça

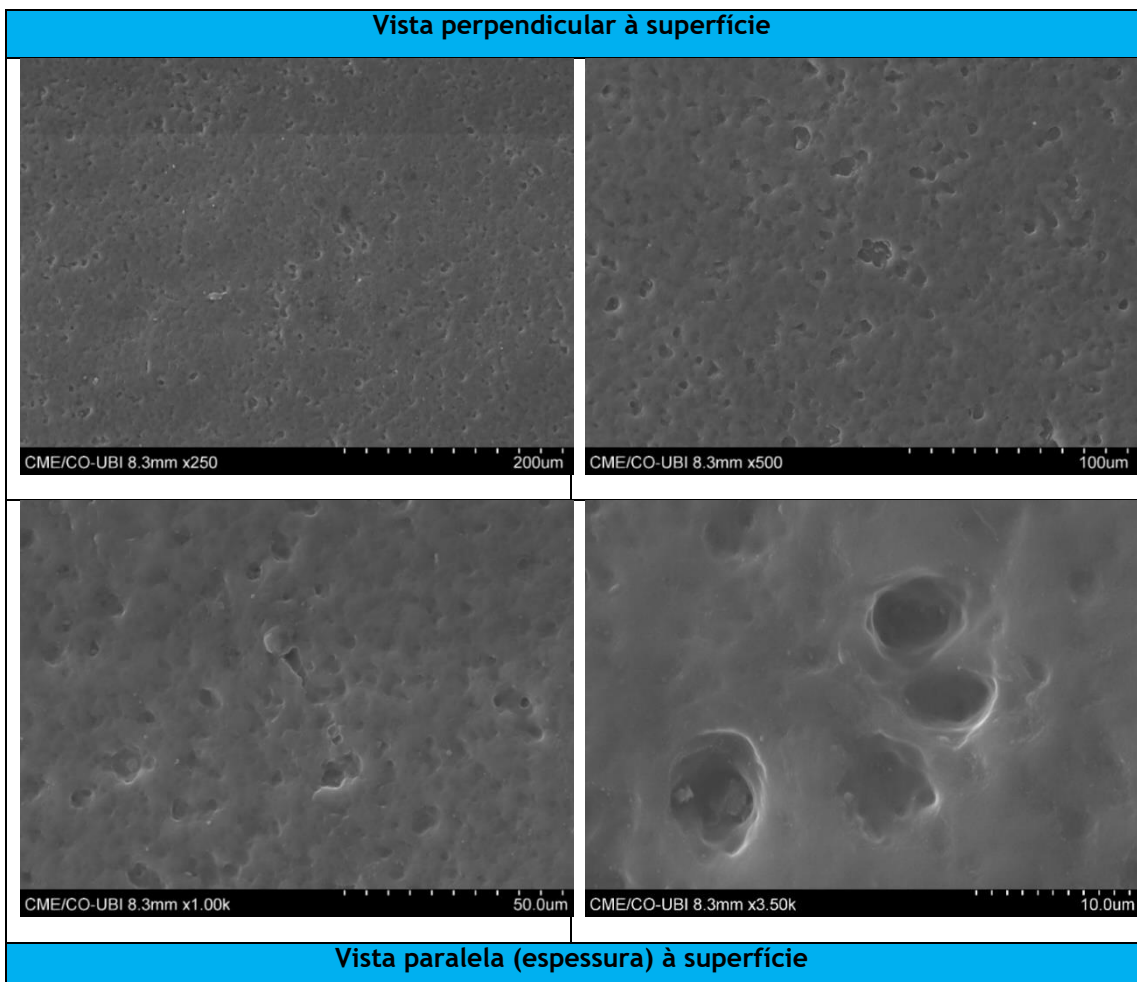
Tabela 8: SEM, mostrando a fisionomia da superfície da Cortiça.

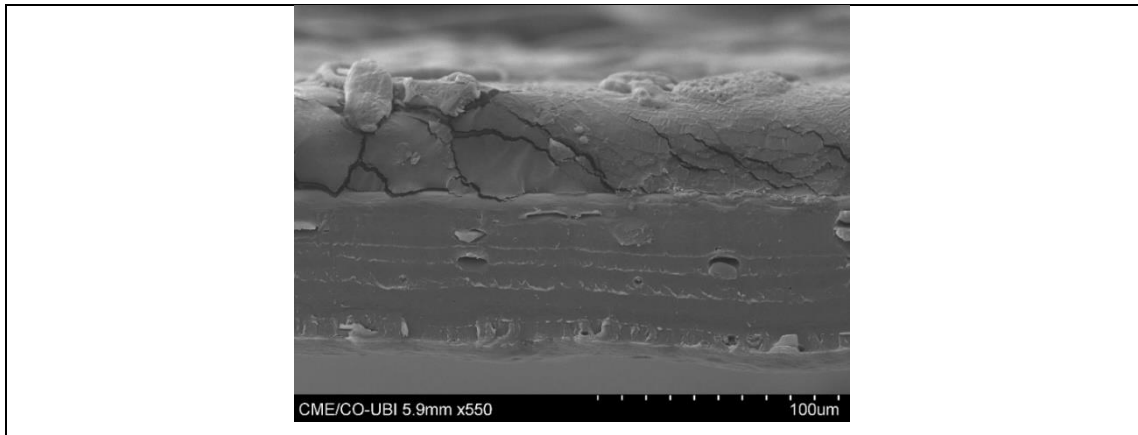




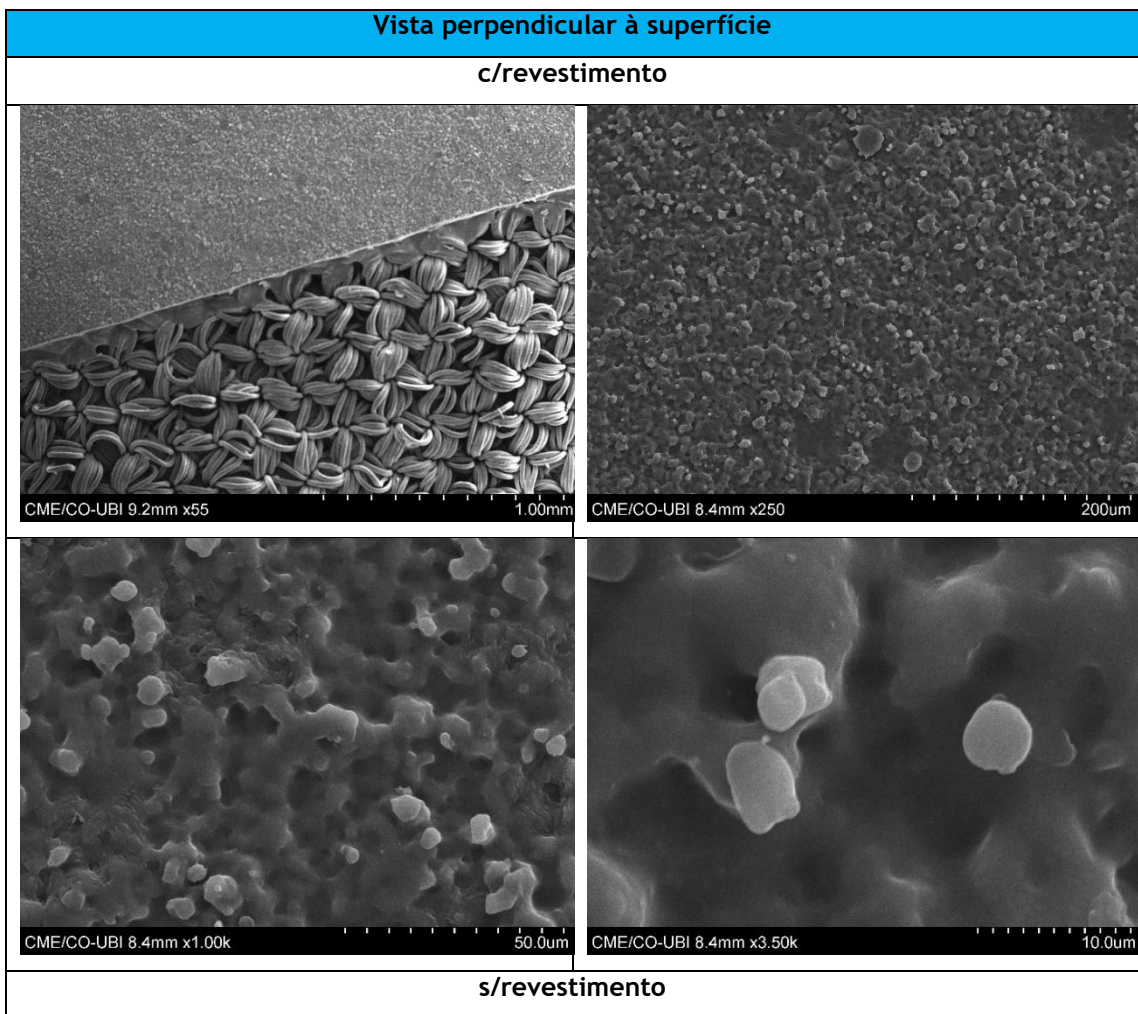
4.4.4. Película de vinil

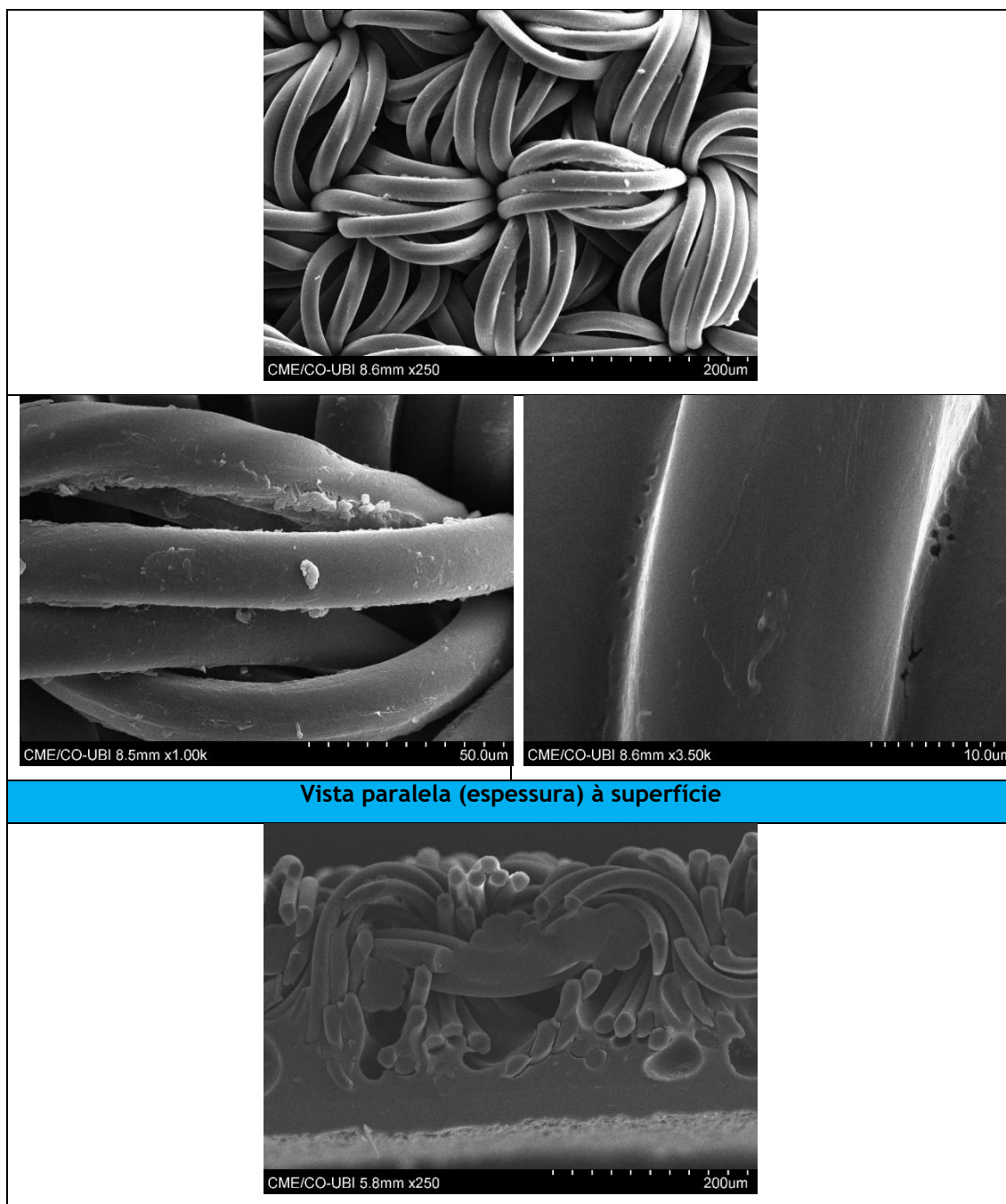
Tabela 9: SEM, mostrando a fisionomia da superfície do Vinil.





4.4.5. Fato da Speedo





4.4.6. Rugosidade dos vários materiais

Com a tecnologia SEM foi possível a determinação da espessura média dos vários materiais. Os valores médios apresentados no gráfico abaixo resultam da determinação da espessura média (ver Anexo 4).

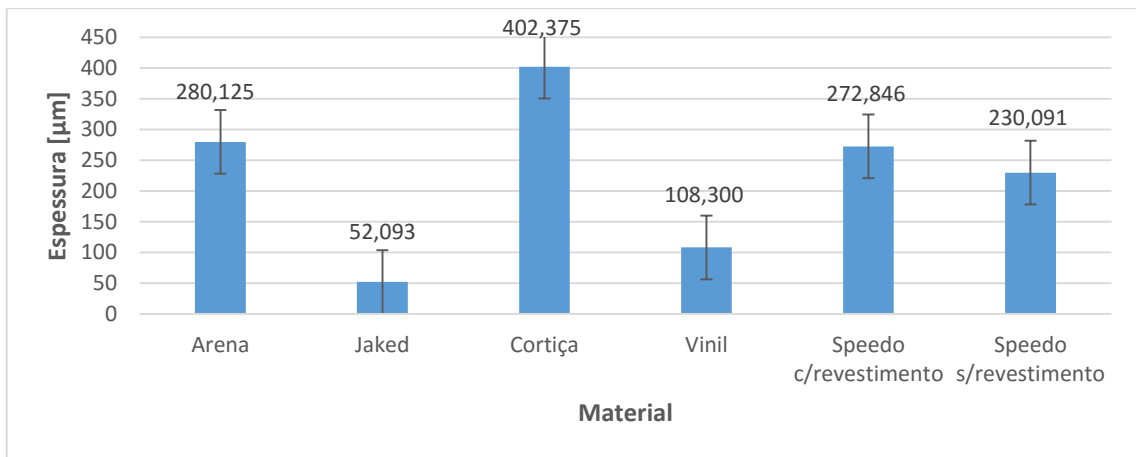


Figura 77: Gráfico da espessura média dos diversos materiais e respetivo erro-padrão.

Pela análise da figura 77 contata-se que relativamente à espessura média dos vários materiais, o Jaked apresenta menor espessura média que os restantes materiais. Por outro lado a cortiça como previsível foi a que obteve maior espessura média. De destacar o fato da Speedo onde se analisou com e sem revestimento de poliuretano, onde se destaca o sem revestimento, no entanto, a zona com revestimento tem melhores propriedades hidrodinâmicas. Quanto à questão da fisionomia dos vários materiais, os fatos Jaked e Speedo e a película de Vinil apresentam uma estrutura idêntica. No entanto, o fato Speedo apresenta uma estrutura base em forma de manta muito idêntico ao fato da Arena. A cortiça é o material ao qual a sua fisionomia nada se assemelha aos restantes, fisionomia em favos de mel.

4.5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Os resultados referentes à simulação numérica são apresentados nesta secção. Devido à extensão de resultados, apenas são apresentados resultados da simulação do LMP1, sendo descartado o corpo de Ahmed.

Um dos fatores da utilização da escala real é o número de iterações utilizadas, cerca de 3000 pontos. Uma possível redução deste número é a aplicação de uma escala menor, a indicada seria a 1/10, utilizada na parte experimental. Permitindo também o tempo necessário para a obtenção de resultados. Em seguida são apresentados os resultados das pressões e as respetivas velocidades locais ao longo de todo o modelo.

4.5.1. Vista frontal

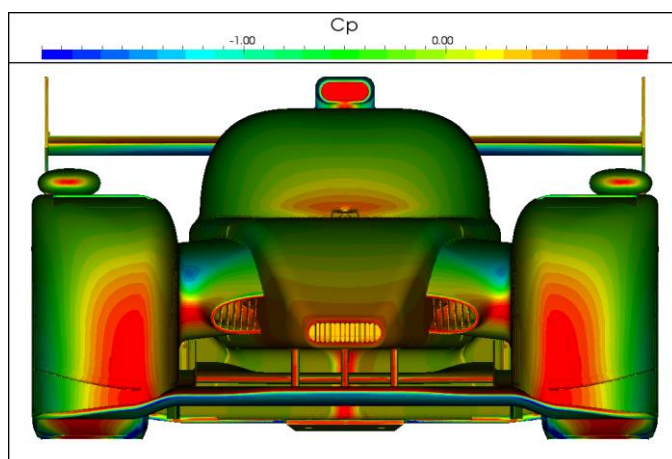


Figura 78: Perfil das pressões, vista frontal.

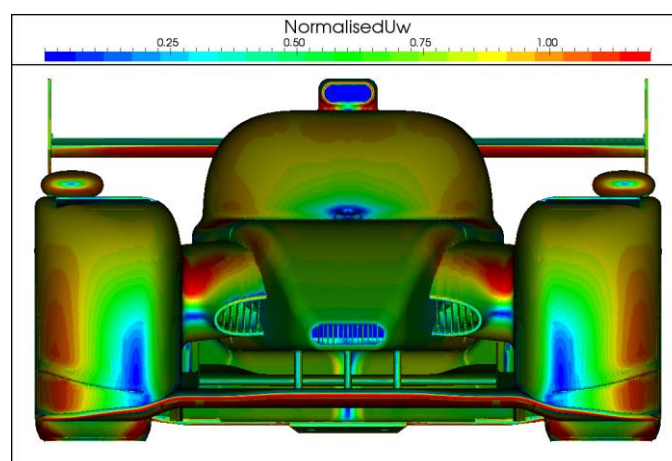


Figura 79: Perfil de velocidades, vista frontal.

Pela análise da figura 78 constata-se que relativamente ao coeficiente de pressão (CP) a zona do nariz é a zona onde este é acentuado, ou seja, zona de concentração de pressões locais (esmagamento do escoamento), caracterizado pelo $CP=1$, ponto de estagnação. No entanto, o CP negativo, para valores próximos de -1 é sentido com maior magnitude na zona superior do nariz, zona do intradorso do nariz e da asa traseira. Na figura do CP é possível ver que à entrada da admissão de ar para o motor o CP é 1 , por simplificação da modelação esta zona foi bloqueada, originando esse resultado, onde na realidade o CP deveria ser o inverso.

Por outro lado, as velocidades (figura 79) têm maior magnitude na zona inferior do intradorso do nariz e da asa traseira. Quanto à velocidade com menor magnitude esta está localizada na boca de admissão de ar para o motor, união entre o nariz e o pára-brisas e as entradas de ar para o arrefecimento dos travões.

4.5.2. Vista inferior

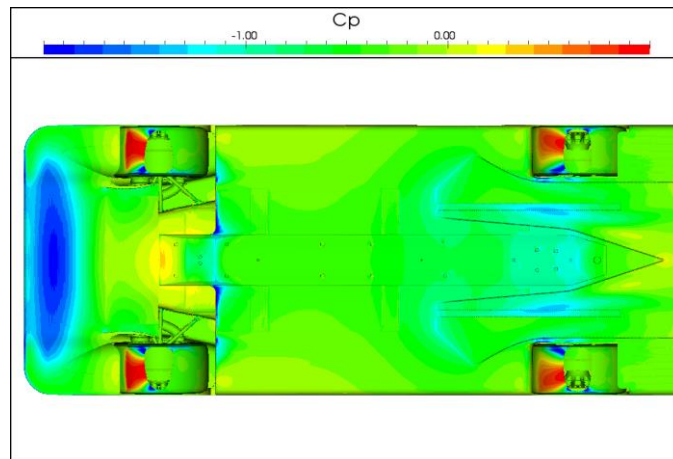


Figura 80: Perfil das pressões, vista inferior.

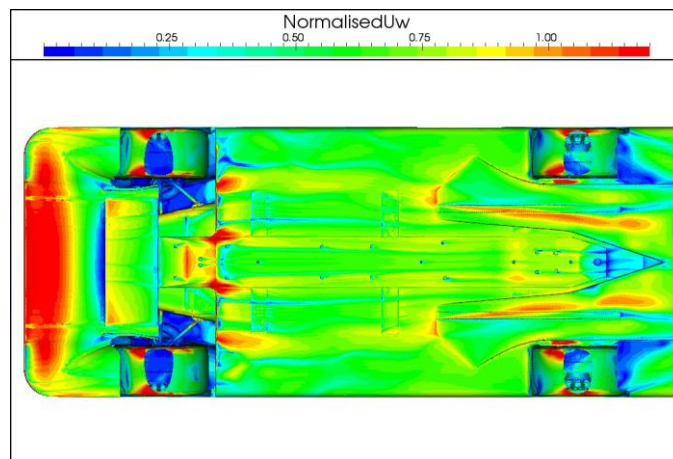


Figura 81: Perfil de velocidades, vista inferior.

Pela análise do CP verifica-se apenas um ponto de estagnação na zona dos pneus, zona onde existe o corte simulando a deformação destes. Por outro lado, os pneus trabalham em efeito de solo contribuindo com os 40 % da resistência total. Para o CP com menor magnitude localiza-se no nariz, na entrada do difusor, zona onde o escoamento é acelerado pelo efeito de Venturi. Relativamente à velocidade na zona inferior do veículo tem maior importância no nariz tal como foi referido anteriormente. Todavia, ao longo do veículo a velocidade tem variações, variações resultantes do efeito de solo. Uma zona ao qual é necessário um estudo mais pormenorizado é a zona interna das rodas, permitindo uma recirculação de ar para o arrefecimento dos travões.

4.5.3. Vista superior

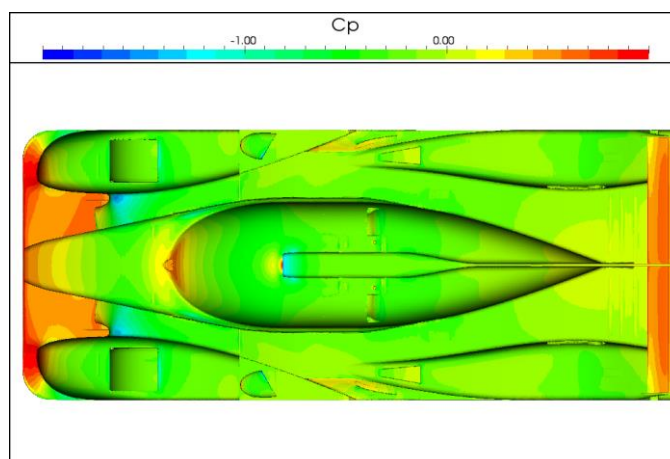


Figura 82: Perfil das pressões, vista superior.

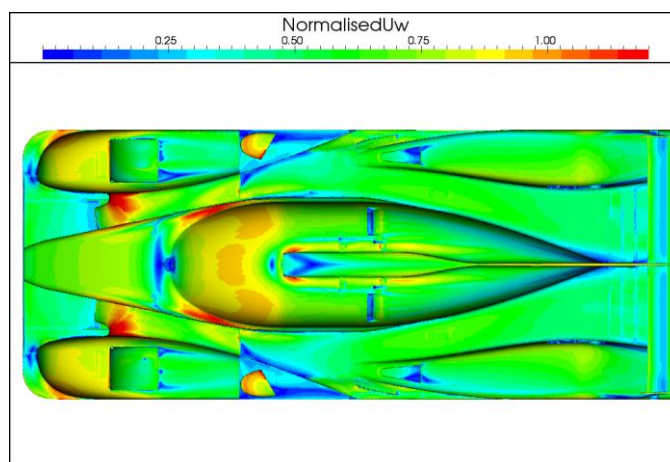


Figura 83: Perfil de velocidades, vista superior.

Na figura 82 é possível a verificação do CP próximo de 1 no nariz, na asa traseira e na união do pára-brisas. Ao longo da sua extensão este coeficiente varia consoante a variação da geometria do veículo.

Em relação à velocidade este apresenta um acréscimo de velocidade ao longo da junção do nariz com o pára-brisas. Todavia, quer junto ao cockpit carnagens e espelho existe uma variação da velocidade de magnitude mais baixa. A existência de um perfil de velocidades ao longo da superfície está interligada à variação da superfície.

4.5.4. Vista traseira

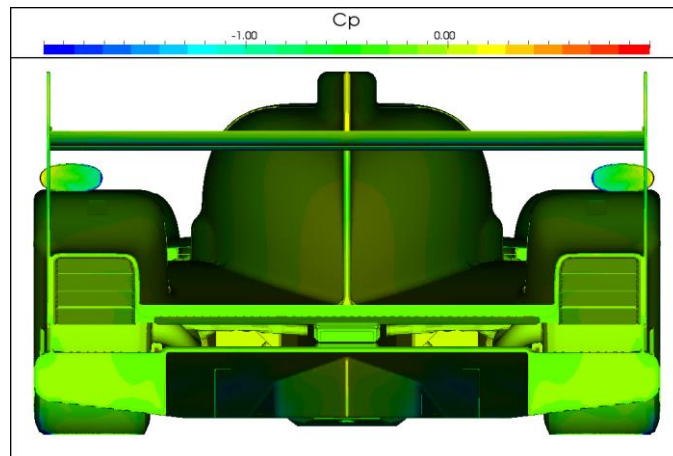


Figura 84: Perfil das pressões, vista traseira.

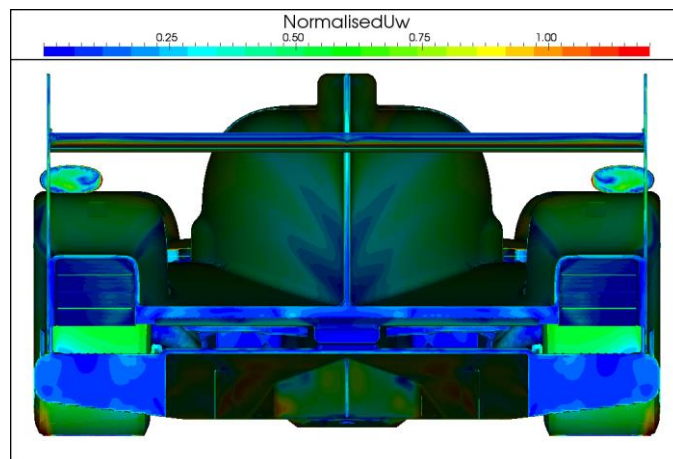


Figura 85: Perfil de velocidades, vista traseira.

Na zona traseira do veículo devido à fisionomia e à junção do escoamento vindo das zonas inferior e superior, apresenta um CP maioritariamente nulo e uma velocidade relativamente baixa.

4.5.5. Resultado da força de resistência e da força de *downforce*

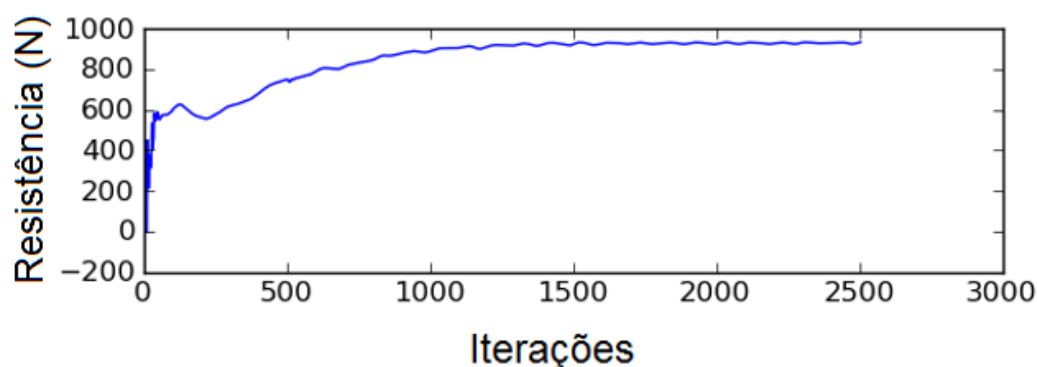


Figura 86: Representação gráfica da força de resistência.

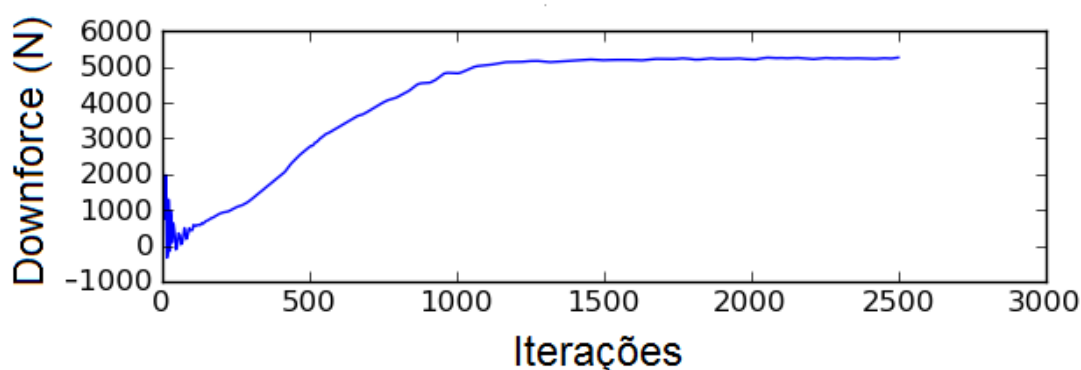


Figura 87: Representação gráfica da força de *downforce*.

Em ambos os gráficos, para a velocidade do veículo de 90 m/s, constata-se que o veículo produz uma força de resistência 900 N e para a força de sustentação negativa ou *downforce* de 5300 N. A obtenção do resultado de ambas as forças, foi possível através da interação para 3000 iterações, sendo atingido a sua convergência às 2500 iterações.

4.6. EFEITOS INVÍSCIDOS

Primeiramente, recorrendo à tabela das coordenadas das 25 tomadas de pressão (11 superiores e 14 inferiores) presente no Anexo 6 para a determinação do C_l e do C_d . Os testes são realizados tendo como material de comparação a fibra de carbono, material ao qual o corpo do veículo é produzido.

As alturas manométricas dos vários materiais é apresentada nas tabelas 15 e 16 do Anexo 7. O cálculo dos coeficientes de pressão (CP) para cada um dos materiais está representado nas figuras seguintes, os seus valores são exibidos no Anexo 8.

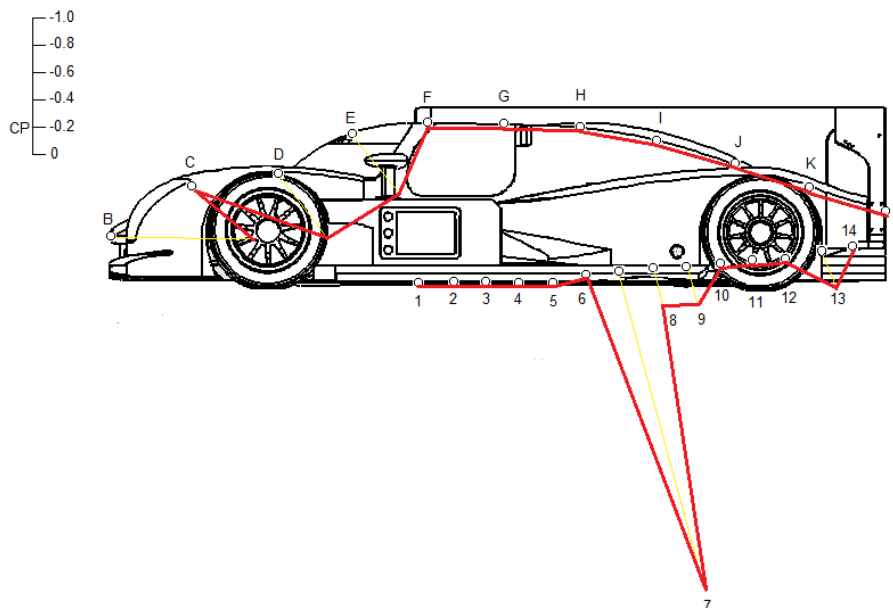


Figura 88: Gráfico do CP da fibra de carbono.

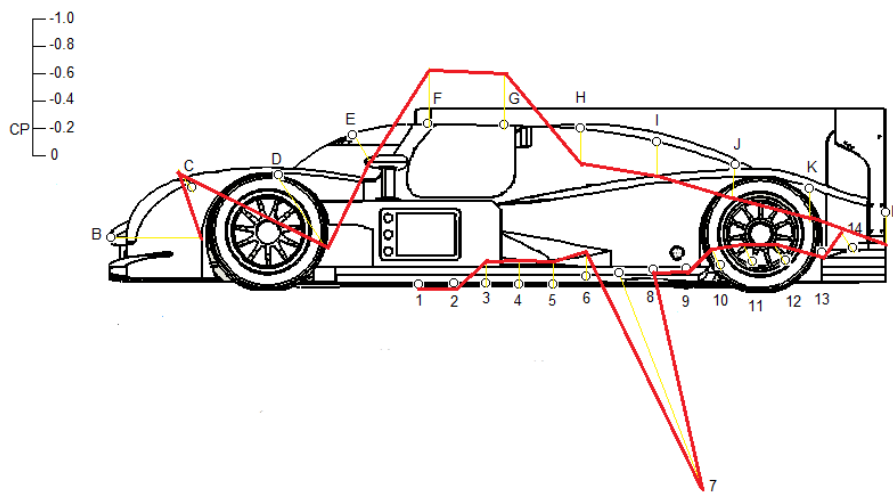


Figura 89: Gráfico do CP da fibra de vidro.

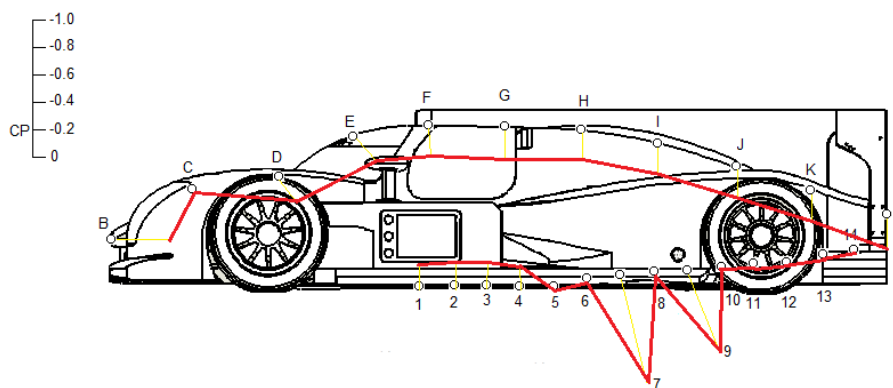


Figura 90: Gráfico do CP do fato Jaked.

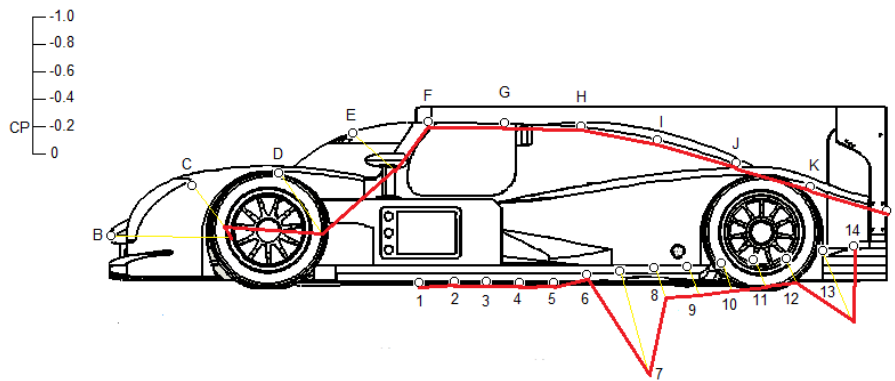


Figura 91: Gráfico do CP do fato Arena.

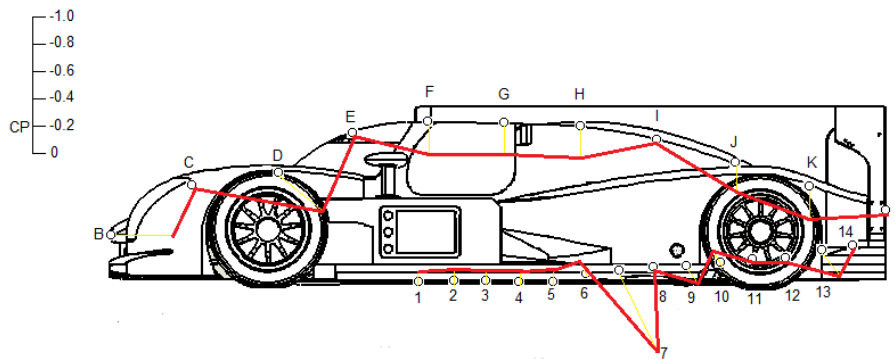


Figura 92: Gráfico do CP do fato Speedo.

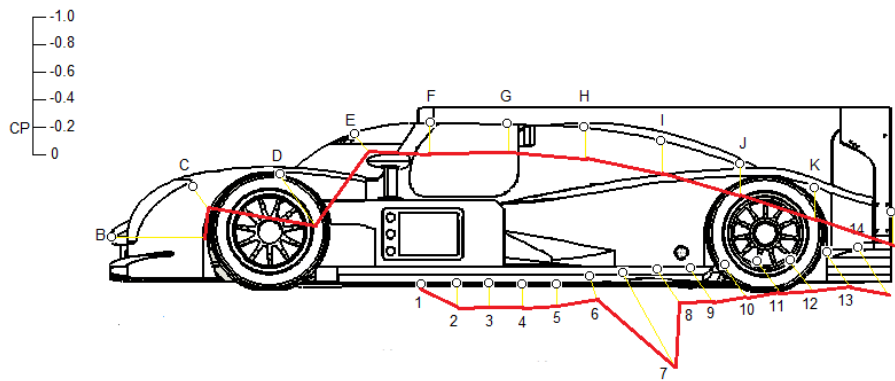


Figura 93: Gráfico do CP da cortiça.

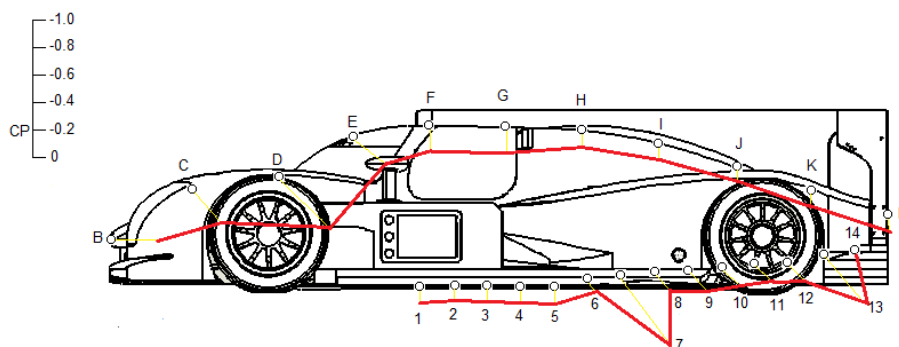


Figura 94: Gráfico do CP da película de vinil.

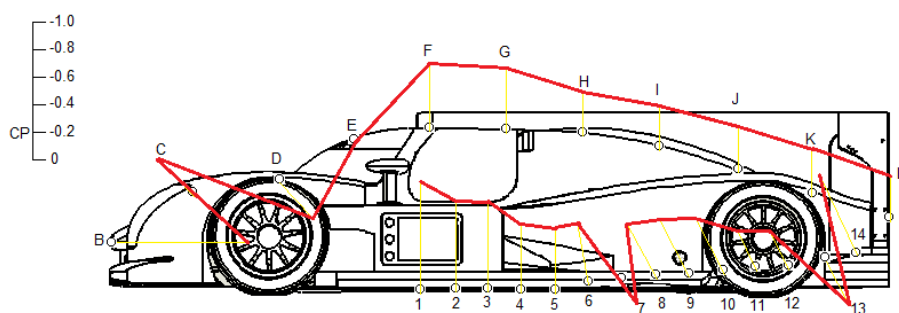


Figura 95: Gráfico do CP da tinta de automóvel.

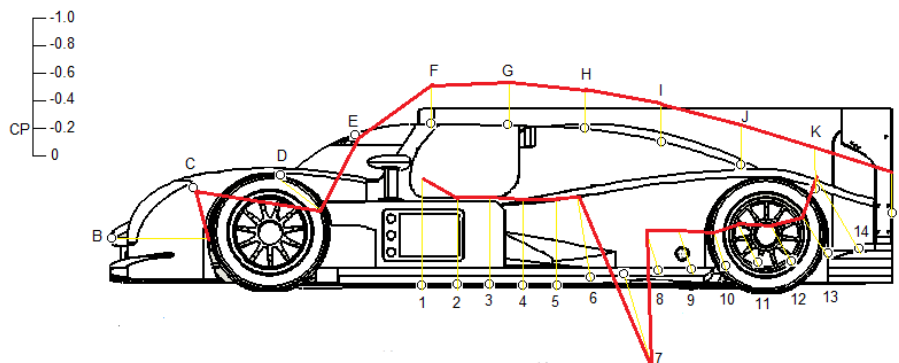


Figura 96: Gráfico do CP da tinta de aeronáutica.

Relativamente ao CP dos vários materiais, as tintas de automóvel e aeronáutica exibem um CP na zona inferior superior a zero, a origem possível é a espessura das diversas camadas, largamente superior aos diversos materiais. Os restantes materiais mostram uma simetria entre si. No entanto, a colagem destes no veículo é feito por fita de dupla face, ao qual esta dá uma espessura extra, uma superfície irregular, influenciando o escoamento.

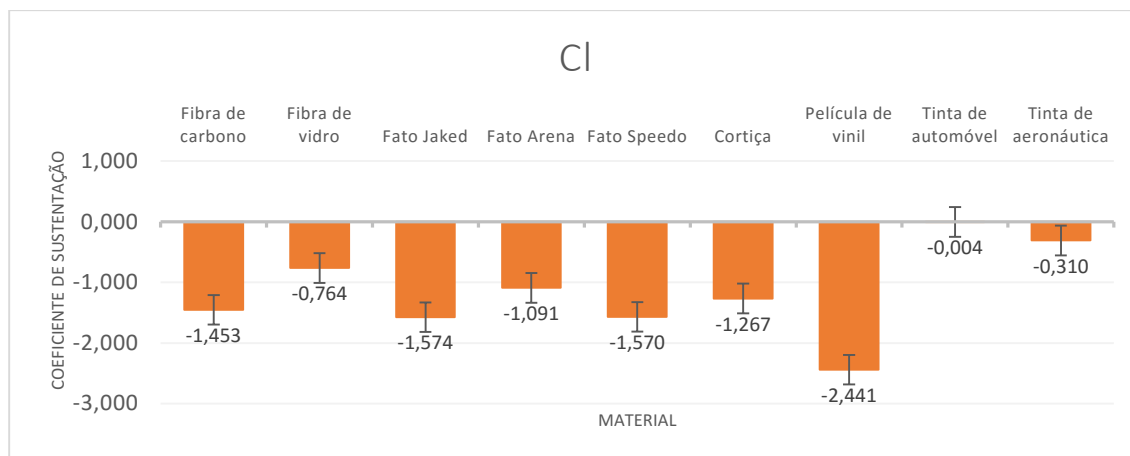


Figura 97: Gráfico do Cl dos efeitos invisíveis do veículo com o respetivo erro padrão.

Como se pode observar pela figura anterior, a fibra de vidro, fato Arena, Cortiça e tinta de automóvel e aeronáutica apresentam uma diminuição no Cl. De referir que o fato Arena foi utilizado em competição de natação, manifestando algum desgaste estrutural. O fato Jaked apresenta uma melhoria no Cl, uma possibilidade para esta redução é a sua espessura inferior aos restantes. Contrariamente as tintas de automóvel e aeronáutica apresentam um aumento do Cl, devido às diversas camadas aplicadas (cerca de duas). No entanto, a película de vinil apresenta o maior aumento de *downforce*, devendo-se ao facto de este material para a sua aplicação necessita de calor e de uma força de tração para que este material se adapte à forma do veículo. Esta adaptação faz com que a película diminua a sua espessura.

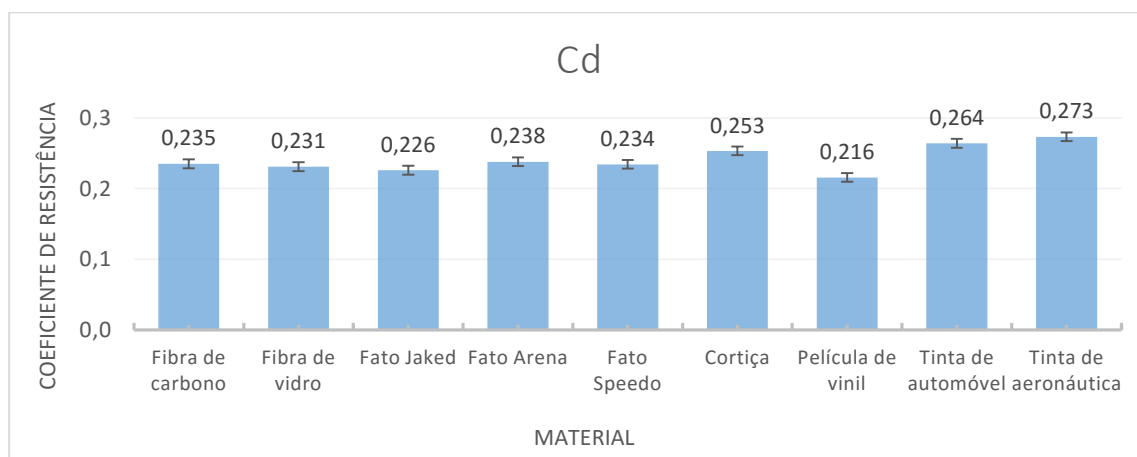


Figura 98: Gráfico do Cd dos efeitos invisíveis do veículo com o respetivo erro padrão.

Comparando a fibra de carbono com os diversos materiais podemos concluir que a fibra de vidro, os fatos Jaked e Speedo e a película de vinil geram menor coeficiente de resistência aerodinâmica. Destacando a película de vinil com uma redução de 8% no Cd padrão. O fato Arena, cortiça e as tintas de automóvel e aeronáutica agravem o Cd, destacando a tinta aeronáutica com cerca de 16%. De referir que o fato Arena apresenta algum desgaste

influenciando o ensaio e as tintas influenciaram igualmente o resultado, devido à aplicação das mesmas.

Nos Anexos 9 e 10 são apresentados os cálculos do CX e Cd. Na tabela seguinte são apresentados os valores totais e a diferença percentual.

Tabela 10: Diferença entre o material de referência.

Material	CY	CI	CI	Cd	Cd
Fibra de carbono	-1,453	-1,453	0%	0,235	0%
Fibra de vidro	-0,764	-0,764	-47,419%	0,231	-1,702%
Fato Jaked	-1,574	-1,574	8,328%	0,226	-3,830%
Fato Arena	-1,091	-1,091	-24,914%	0,238	1,222%
Fato Speedo	-1,570	-1,570	8,052%	0,234	-0,426%
Cortiça	-1,267	-1,267	-12,801%	0,253	7,784%
Película de vinil	-2,441	-2,441	67,997%	0,216	-8,085%
Tinta de automóvel	-0,004	-0,004	-99,725%	0,264	12,342%
Tinta de aeronáutica	-0,310	-0,310	-78,665%	0,273	16,255%

Capítulo 5 - Reflexão Final e perspectivas futuras

5.1. REFLEXÃO FINAL

Comparativamente à fibra de carbono a película de vinil apresenta o maior contributo para a *downforce*, contribuindo com 68%. Devendo-se ao facto da diminuição da estrutura pelo estiramento durante a sua aplicação. Os fatos Jaked e Speedo obtêm igualmente um acréscimo da *downforce*, cerca de 8%. No entanto, o fato da Arena não obteve um resultado relevante devido ao desgaste acentuado da sua estrutura. As tintas automóvel e aeronáutica têm um *downforce* menor, este facto está relacionado com a sua espessura, onde é aplicado duas camadas ao qual interferiu com o resultado. Igualmente, ocorre para as fibras de vidro e a cortiça, materiais com uma superfície irregular e de elevada espessura.

Quanto ao coeficiente de resistência (C_d), a película de vinil foi o material que fez a maior contribuição para a redução do C_d em cerca de 8%. Outros materiais como a fibra de vidro (1,7%), os fatos Jaked (3,8%) e Speedo (0,43%) contribuem igualmente para uma redução do C_d , menos expressiva que a película de vinil. As tintas automóvel e aeronáutica, o fato Arena e a cortiça apresentam um C_d com um resultado superior ao material padrão.

Para a velocidade de 7,405 m/s do túnel de vento presente no laboratório de Aerodinâmica e Propulsão do Departamento Ciências Aeroespaciais da Universidade da Beira Interior (UBI), apresenta um comportamento do escoamento praticamente uniforme entre os 50 e 750 mm medidos num plano mediano à área de trabalho através da introdução de um tubo de Pitot.

O fato Jaked apresenta uma espessura de menor dimensão comparativamente aos restantes materiais e a cortiça apresenta a espessura de maior dimensão. Neste estudo não foi possível a quantificação da espessura e a fisionomia da tinta de automóvel e aeronáutica. Todavia, os fatos da Jaked e Speedo e a película de Vinil apresentam a mesma fisionomia de superfície. Por outro lado, o fato Speedo apresenta dois tipos de fisionomias, uma de poliuretano tipo casca de laranja e outra a base de fios em forma de manta.

A modelação tridimensional é feita recorrendo aos programas SolidWorks 2014 e Catia V5, tendo em vista o regulamento técnico para o LMP1. A otimização do veículo é feita tendo em conta a melhoria aerodinâmica, desempenho, entre outros, comprovados pelo programa Ansys Fluent 14.5.

Os resultados da análise mostram um coeficiente de pressão (C_p) elevado no nariz, admissão, etc. O inverso ocorre na zona da traseira do veículo. Em relação à velocidade do fluido em torno do veículo tem um comportamento na zona inferior do veículo de desaceleração à entrada do Venturi, e acelerado no difusor, como se pretende.

Durante a conceção do modelo à escala 1/10 é introduzido 25 tomadas de pressão (11 na parte superior e 14 na inferior) ao longo da geometria do carro permitem a obtenção do gradiente de pressões ao longo deste. As pressões obtidas por analiticamente através de um multimanómetro. O CP dos diversos materiais apresentam um padrão, no entanto as tintas automóvel e aeronáutica apresentam um discrepância do padrão. Este desvio deve-se ao facto da espessura depositada.

5.2. PERSPETIVAS FUTURAS

Os resultados associados ao presente estudo permitem compreender que a superfície inferior do veículo apresenta alterações significativas em importantes aspetos de natureza funcional, quando se varia os materiais. Para aprofundar as potencialidades da possível valorização funcional propõe-se o seguinte:

- Otimizar as condições de aplicação dos diversos materiais na superfície, tais como o recurso à aplicação do material na construção direta da peça;
- Otimizar a zona de tomada de pressão;
- Avaliar as forças totais do veículo, dando uma quantificação dos efeitos invíscidos;
- Estudar o desgaste dos diversos materiais e o efeito resultante deste desgaste;
- A utilização de um modelo real dará uma perceção de maior grandeza de todo o efeito.

A otimização do veículo e a sua validação tornam-se necessárias, desta forma, na continuação deste estudo propõem-se o seguinte:

- Redesenhar a saída de escape para uma zona favorável para o veículo, produção de uma baixa pressão, por exemplo na zona mais recuada do veículo;
- Introdução do Kit aerodinâmico 2 para Le Mans;
- Estudo do centro de gravidade do veículo.

A continuidade deste trabalho põe fundadas expectativas na definição de condições ótimas para a aplicação de outros materiais em veículos de competição.

Bibliografia

- Abbas, A., De Vicente, J. & Valero, E., 2013. Aerodynamic technologies to improve aircraft performance. *Aerospace Science and Technology*, 28(1), pp.100-132.
- Adami, R., Candelpergher, A., Gadola, M. & Vielmi, S., 2001. Wind-tunnel data surfacing , visualisation and processing for simulation purposes. *In XII ADM International Conference, Rimini*. pp. 1-10.
- Arnage, C., 2014. Le Mans (not just) for Dummies. *The club Arnage Guide to the 24 hours of Le Mans 2014*, p.87.
- Arquiaga, M.C., Canter, L.W. & Robertson, J.M., 1995. Microbiological characterization of the biological treatment of aircraft paint stripping wastewater. *Environmental Pollution*, 89(2), pp.189-195.
- Asaee, Z., Shadlou, S. & Taheri, F., 2015. Low-velocity impact response of fiberglass / magnesium FMLs with a new 3D fiberglass fabric. *Composite Structures*, 122, pp.155-165.
- Barata, J.M.M., Correia, J.P.S. & Silva, A.R.R., 2008. Numerical Optimization of the Location of F1 CDG Wings. *SAE Paper 2008-01-3002, SAE 2008 Motorsports Engineering Congerence*, p.4.
- Baskaran, D. & Müller, A.H.E., 2007. Anionic vinyl polymerization-50 years after Michael Szwarc. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 32(2), pp.173-219.
- Bixler, G.D. & Bhushan, B., 2013. Shark skin inspired low-drag microstructured surfaces in closed channel flow. *Journal of Colloid and Interface Science*, 393, pp.384-396.
- Borysiewicz, M., Wojciechowski, T., Dynowska, E., Wielgus, M., Bar, J., Wojtowicz, T., Kamińska, E. & Piotrowska, A., 2014. Nanocoral ZnO films fabricated on flexible poly(vinyl chloride) using a carrier substrate. *Thin Solid Films*, 550, pp.145-148.
- Brederode, V. de, 2014. *Aerodinâmica incompressível: Fundamentos* 1ª edição. E. do Autor, ed., Lisboa: Biblioteca do Instituto Superior Técnico (IST).
- Çağlar, S., Gözen, D. & İnce, Z., 2014. Heat Loss Prevention (Help) After Birth in Preterm Infants Using Vinyl Isolation Bag or Polyethylene Wrap. *Journal of Obstetric, Gynecologic, & Neonatal Nursing*, 43(2), pp.216-223.

- Chainani, A. & Perera, N., 2008. CFD investigation of airflow on a model radio control race car. , *Proceeding of the World Congress on Engineering 2008 VolIII, WCE 2008*, July 2-4, 2008, pp.2-5.
- Channiwala, S. a, Nagarsheth, H.J. & Desai, M., 2008. A comparative assessment of two experimental methods for aerodynamic performance evaluation of a car. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 67(July), pp.518-522.
- Chen, H., Zhang, X., Ma, L., Che, D., Zhang, D. & Sudarshan, T. S., 2014. Investigation on large-area fabrication of vivid shark skin with superior surface functions. *Applied Surface Science*, 316, pp.124-131.
- Day, A.H. & Cooper, C., 2011. An experimental study of interceptors for drag reduction on high-performance sailing yachts. *Ocean Engineering*, 38(8-9), pp.983-994.
- Delgado, P., Porcel, J., Abril, I., Torres, N., Terán, A. & Zugasti, A., 2004. Potential Dermal Exposure during the Painting Process in Car Body Repair Shops. *Annals of Occupational Hygiene*, 48(3), pp.229-236.
- De-yuan, Z., Yue-hao, L. Xiang, L. & Hua-wei, C., 2011. Numerical simulation and experimental study of drag-reducing surface of a real shark skin. *Journal of Hydrodynamics*, 23(2), pp.204-211.
- Diba, F., Barari, A. & Esmailzadeh, E., 2014. Handling and safety enhancement of race cars using active aerodynamic systems. *Vehicle System Dynamics*, 52(9), pp.1171-1190.
- Domnick, J., Gruseck, D., Pulli, K., Scheibe, A., Ye, Q. & Brinckmann, F., 2011. Investigations of the drying process of a water based paint film for automotive applications. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50, pp.495-502.
- El-Hajjar, R.F. & Petersen, D.R., 2011. Adhesive polyvinyl chloride coatings for quantitative strain measurement in composite materials. *Composites: Part B*, 42(7), pp.1929-1936.
- Esfahani, J.M., Esfandeh, M. & Sabet, A.R., 2011. High-Velocity Impact Behavior of Glass Fiber-Reinforced Polyester Filled with Nanoclay. *Journal of Applied Polymer Science*, 125(7), pp.583-591.
- Ewald, B.F.R., 1998. *Wind Tunnel Wall Corrections*, BP 25, 7 Rue Ancelle, F-92201 Neuilly-Sur-Seine Cedex: AGARD - Advisory for Aerospace Research & Development.

- Farrokhpay, S., Morris, G. E., Fornasiero, D. & Self, P., 2006. Titania pigment particles dispersion in water-based paint films. *Journal of Coatings Technology and Research*, 3(4), pp.275-283.
- Ferrotti, G., Canestrari, F., Pasquini, E. & Virgili, A., 2012. Experimental evaluation of the influence of surface coating on fiberglass geogrid performance in asphalt pavements. *Geotextiles and Geomembranes*, 34, pp.11-18.
- FIA, 2014. 2015 Technical Regulations for LMP1 Prototype, p.72.
- FIA, S., 2015. Article 257A-2015 - Règlement Technique pour Voitures de Grand Tourisme de Coupe. Technical Regulations for Cup Grand Touring Cars (Groupe GT3 / Group GT3). *Département Technique*, p.12.
- Fillon, P., Todt, J., Owen-Jones, Sir L. & Neveu, G., 2013. WEC FIA - 2013 Media Guide. *FIA*.
- Fonseca, R.B., Marques, A. S., Bernades, K. De O., Carlo, H. L. & Naves, L. Z., 2014. Effect of Glass Fiber Incorporation on Flexural Properties of Experimental Composites. *BioMed Research International*, 2014, p.6.
- Foster, L., James, D. & Haake, S., 2012. Influence of full body swimsuits on competitive performance. *Procedia Engineering*, 34(0), pp.712-717.
- Garner, H.C., Rogers, E., Acum, W. & Maskell, E., 1966. Subsonic wind tunnel wall corrections, 64 Rue de Varenne, Paris 7a: AGARD - Advisory group for Aerospace Research & Development.
- Van Geer, E., Molenbroek, J., Schreven, S., De Voogd-Claessen, L. & Toussaint, H., 2012. Comparing swimsuits in 3D. *Work*, 41(SUPPL.1), pp.4025-4030.
- Gianferri, R., Giampaoli, S., Magini, V., Sciubba, F., Romano Spica, V. & Delfini, M., 2014. Study of interaction of water with advanced materials for swimming pool sportswear by NMR spectroscopy. *Microchemical Journal*, 112, pp.132-136.
- Gil, L., 2009. Cork composites: A review. *Materials*, 2, pp.776-789.
- Glazneva, T.S., Kaichev, V. V., Paukshtis, E. A., Khabibulin, D. F., Lapina, O. B., Bal'Zhinimaev, B. S., Zhurba, E. N., Lavrinovich, I. A., Gavrikova, I. N., Shumskii, V. I. & Trofimov, A. N., 2012. Structure and composition of the surface layer of Zr-containing fiberglass materials. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358(8), pp.1053-1058.

- González-García, S., Dias, A.C. & Arroja, L., 2013. Life-cycle assessment of typical Portuguese cork oak woodlands. *The Science of the total environment*, 452-453, pp.355-64.
- Greef, N. De, Zhang, L., Magrez, A., Forró, L., Locquet, J. P., Verpoest, I. & Won, J., 2015. Diamond & Related Materials Direct growth of carbon nanotubes on carbon fibers : Effect of the CVD parameters on the degradation of mechanical properties of carbon fibers. *Diamond & Related Materials*, 51, pp.39-48.
- He, S., Zhang, S. & Lu, C., 2011. Coating carbon fiber using polyimide-silica nanocomposite by electrophoretic deposition. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 387(1-3), pp.86-91.
- Hino, R., Nishio, D., Kabashima, K. & Tokura, Y., 2008. Percutaneous penetration via hand eczema is the major accelerating factor for systemic absorption of toluene and xylene during car spray painting. *Contact Dermatitis*, 58(6), pp.76-79.
- Hong-qi, T., 2009. Formation mechanism of aerodynamic drag of high-speed train and some reduction measures. *Journal of Central South University of Technology*, 16(1), pp.166-171.
- Hucho, W.-H. & Sovran, G., 1993. Aerodynamics of road vehicles. *Annual review of fluid mechanics*, pp.485-537.
- Huttunen-Saarivirta, E., Kuokkala, V. T., Kokkonen, J. & Paajanen, H., 2011. Corrosion effects of runway de-icing chemicals on aircraft alloys and coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 126(1-2), pp.138-151.
- Islam, T., Hassan, S.M.R. & Ali, M., 2012. Aerodynamic Drag of Racing Cars. *Proceedings of the Global Engineering, Science and Technology Conference*, (December), p.8.
- Ito, M. & Nagai, K., 2007. Analysis of degradation mechanism of plasticized PVC under artificial aging conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 92(2), pp.260-270.
- Jacob, A., 2014. Carbon fibre and cars - 2013 in review. *Reinforced Plastics*, 58(1), pp.18-19.
- Jahanmiri, M., 2011. Pressure Sensitive Paints: The Basics & Applications. *Mohsen Jahanmiri*, p.35.
- Jakobsen, S.K., Laustsen, J. M., Jørgensen, J. G., Grishauge, N. K., Bender, J. J. & Ammundsen, J. A., 2013. Design of a Monocoque for an LMP1 Race Car. *In THE 1st STUDENT SYMPOSIUM ON MECHANICAL AND MANUFACTURING ENGINEERING*. p. 10.

- Jin, Y. & Herwig, H., 2014. Turbulent flow and heat transfer in channels with shark skin surfaces: Entropy generation and its physical significance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 70, pp.10-22.
- Johansen, L.R., Sidaoui, P., Koutentakis, A., Sørensen, P. T., Nielsen, F. A. E. & Julsgaard, R., 2014. Fibre Reinforced Monocoque for an LMP1 Race Car - Redesign for Manufacturability. In *THE 2nd STUDENT SYMPOSIUM ON MECHANICAL AND MANUFACTURING ENGINEERING*, p.9.
- Juliano, T.J., Disotell, K. J., Gregory, J. W., Crafton, J. & Fonov, S., 2012. Motion-deblurred, fast-response pressure-sensitive paint on a rotor in forward flight. *Measurement Science and Technology*, 23(4), p.11.
- Jurgetz, A., 1995. Automotive paint performance. *Metal Finishing*, 93(October), pp.53-55.
- Kameda, M., Seki, H., Makoshi, T., Amao, Y. & Nakakita, K., 2012. A fast-response pressure sensor based on a dye-adsorbed silica nanoparticle film. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 171-172, pp.343-349.
- Katz, J., 2006. Aerodynamics of Race Cars. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 38(1), pp.27-63.
- Katz, J., 1995. Race Car Aerodynamics - Designing for Speed. In *Bentley Publishers*. Cambridge: Bentley Publishers / Automotive Books & Manuals, p. 278.
- Kittiphattanabawon, P., Benjakul, S., Visessanguan, W. & Shahidi, F., 2012. Gelatin hydrolysate from blacktip shark skin prepared using papaya latex enzyme: Antioxidant activity and its potential in model systems. *Food Chemistry*, 135(3), pp.1118-1126.
- Krug, D.J., Asuncion, M. Z., Popova, V. & Laine, R. M., 2013. Transparent fiber glass reinforced composites. *Composites Science and Technology*, 77, pp.95-100.
- L'Ouest, T.A.C. de, 2015. Presentation Le Mans Prototype 3 LM P3. *The Automobile Club de L'Ouest*, p.7.
- Lapina, O.B., Khabibulin, D.F. & Terskikh, V. V., 2011. Multinuclear NMR study of silica fiberglass modified with zirconia. *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, 39, pp.47-57.
- LaPuma, P.T. & Rhodes, B.S., 2002. Chromate Content versus Particle Size for Aircraft Paints. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 36(3), pp.318-324.
- Lee, C. & Al-Obaidi, A., 2014. Calculation and Optimization of the Aerodynamic Drag of An Open-Wheel Race Car. *School of Engineering, Taylor's University*, pp.1-15.

- Li, D., Tai, Q., Feng, Q., Li, Q., Xu, X., Li, H., Huang, J., Dong, L., Xie, H. & Xiong, C., 2014. Highly reflective and adhesive surface of aluminized polyvinyl chloride film by vacuum evaporation. *Applied Surface Science*, 311, pp.541-548.
- Li, X., Zhang, G., Fang, J., Wu, J. & Cui, Z., 2010. Vehicle color recognition using vector matching of template. *3rd International Symposium on Electronic Commerce and Security, ISECS 2010*, (c), pp.189-193.
- LichaoFeng, E., NingXie, E. & Zhong, J., 2014. Carbon Nanofibers and Their Composites: A Review of Synthesizing, Properties and Applications. *Materials*, 7(5), pp.3919-3945.
- Lim, T.S. & Lee, D.G., 2002. Mechanically fastened composite side-door impact beams for passenger cars designed for shear-out failure modes. *Composite Structures*, 56(2), pp.211-221.
- LIU, K.N., JOSEPH, D. D., RICCIUS, O. & CHRISTODOULOU, C., 1990. Drag reduction in pipes lined with riblets. *AIAA Journal*, 28(10), pp.1697-1698.
- Liu, Y. & Li, G., 2012. A new method for producing “Lotus Effect” on a biomimetic shark skin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 388, pp.235-242.
- López, F. A., Martín, M. I., Alguacil, F. J., Rincón, J. M., Centeno, T. A. & Romero, M., 2012. Thermolysis of fibreglass polyester composite and reutilisation of the glass fibre residue to obtain a glass-ceramic material. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 93, pp.104-112.
- Lucas Flores, O., Kharissova, O. V., Ortiz Méndez, U., Leija Gutiérrez, H., De Casas Ortiz, E. & Kharisov, B. I., 2013. Application of functionalized SWCNTs for increase of degradation resistance of acrylic paint for cars. *Journal of Chemistry*, 2013, p.9.
- Luo, H., Xiong, G., Ma, C., Li, D. & Wan, Y., 2014. Preparation and performance of long carbon fiber reinforced polyamide 6 composites injection-molded from core/shell structured pellets. *Materials & Design*, 64, pp.294-300.
- Ma, X., Yuan, C. & Liu, X., 2014. Mechanical, Microstructure and Surface Characterizations of Carbon Fibers Prepared from Cellulose after Liquefying and Curing. *Materials*, 7(1), pp.75-84.
- Mangu, R., Prayaga, K., Nadimpally, B. & Nicaise, S., 2010. Design, development and optimization of highly efficient solar cars: Gato del Sol I-IV. *2010 IEEE Green Technologies*, p.6.

- Mantel, J., 2005. Understanding and Improving Pressure Sensitive Paint based on luminescence decay. *TU Delft - Technische Universiteit Delft*, p.93.
- Maric, M., van Bronswijk, W., Lewis, S. W., Pitts, K. & Martin, D. E., 2013. Characterisation of chemical component migration in automotive paint by synchrotron infrared imaging. *Forensic Science International*, 228, pp.165-169.
- Marqués-Bruna, P., 2011. Engineering the race car wing: Application of the vortex panel numerical method. *Sports Engineering*, 13(4), pp.195-204.
- McHugh, B., 1996. Central paint finishing system for aircraft parts. *Metal finishing*, pp.29-31.
- McLachlan, B.G. & Bell, J.H., 1995. Pressure-sensitive paint in aerodynamic testing. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 10(4), pp.470-485.
- Mestre, A. & Vogtlander, J., 2013. Eco-efficient value creation of cork products : an LCA-based method for design intervention. *Journal of cleaner production*, 57, pp.101-114.
- Miao, D., Jiang, S., Zhao, D. & Guo, R., 2014. Microstructure and adhesive properties of TiO₂ coating on PU and PVC leathers. *The Journal of The Textile Institute*, (April 2015), pp.1-6.
- Mills, C., Lomax, M., Ayres, B. & Scurr, J., 2014. The movement of the trunk and breast during front crawl and breaststroke swimming. *Journal of Sports Sciences*, 33(4), pp.427-436.
- Montero, I., Miranda, T., Sepúlveda, F. J., Arranz, J. I. & Nogales, S., 2014. Analysis of Pelletizing of Granulometric Separation Powder from Cork Industries. *Materials*, pp.6686-6700.
- Moria, H., Chowdhury, H., Alam, F., Subic, A., Smits, A. J., Jassim, R. & Bajaba, N. S., 2010. Contribution of swimsuits to swimmer's performance. *Procedia Engineering*, 2(2), pp.2505-2510.
- Moria, H., Chowdhury, H. & Alam, F., 2011. Microstructures and aerodynamics of commercial swimsuits. *Procedia Engineering*, 13, pp.389-394.
- Mounir, S., Maaloufa, Y., Cherki, A. B. & Khabbazi, A., 2014. Thermal properties of the composite material clay/granular cork. *Construction and Building Materials*, 70, pp.183-190.

- Murri, D.G., McGhee, R. J., Jordan Jr., F. L., Davis, P. J. & Viken, J. K., 1987. WIND TUNNEL RESULTS OF THE LOW-SPEED NLF(1)-0414F AIRFOIL. *Research in Natural Laminar Flow and Laminar-Flow Control*, (1), pp.673-696.
- Neiva, H.P., Vilas-Boas, J. P., Barbosa, T. M., Silva, A. J. & Marinho, D. A., 2011. 13th fina world championships: Analysis of swimsuits used by elite male swimmers. *Journal of Human Sport and Exercise*, 6(1), pp.87-93.
- O’Kane, P., 2011. A History of the “Triple Crown” of Motor Racing: The Indianapolis 500, the Le Mans 24 Hours and the Monaco Grand Prix. *The International Journal of the History of Sport*, 28(2), pp.281-299.
- Obradovic, J., Boria, S. & Belingardi, G., 2012. Lightweight design and crash analysis of composite frontal impact energy absorbing structures. *Composite Structures*, 94(2), pp.423-430.
- Ohkuwa, T., Itoh, H., Yamamoto, T., Yamazaki, Y. & Sato, Y., 2002. Comparison of blood lactate levels between swimming in clothes and a swimsuit. *Research quarterly for exercise and sport*, 73(3), pp.345-349.
- Oliveira, F., Carmo, S., Steffens, F., Souto, P. & Silva, E., 2013. Cortiça, Tecnologia e Moda: Aplicação da descarga plasmática para viabilizar a utilização de novos produtos. In *Coloquio Moda Cortica, Tecnologia e Moda Aplicação da descarga plasmática*. pp. 1-9.
- Oliveira, R.M., Botaro, V.R. & Faulstich de Paiva, J.M., 2014. COMPÓSITO DE POLIURETANO ELASTOMÉRICO REFORÇADO COM FIBRAS DE JUTA : ESTUDO DAS PROPRIEDADES DINÂMICO - MECÂNICAS E VISCOELÁSTICAS. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 15(5), pp.261-274.
- Panseri, S., Chiesa, L. M., Zecconi, A., Soncini, G. & De Noni, I., 2014. Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) from wrapping films and wrapped PDO Italian cheeses by using HS-SPME and GC/MS. *Molecules*, 19(7), pp.8707-8724.
- Partridge, B., 2011. Fairness And Performance-Enhancing Swimsuits AT The 2009 Swimming World Championships: The “Asterisk” Championships. *Sport, Ethics and Philosophy*, 5(1), pp.63-74.
- Peddie, K.M. & Gonzalez, L.F., 2009. CFD Study on the Diffuser of a Formula 3 Racecar. *Orbit: The University of Sydney Undergraduate Research Journal*, 1(1), pp.18-35.
- Peeling, P. & Landers, G., 2007. The effect of a one-piece competition speedsuit on swimming performance and thermoregulation during a swim-cycle trial in triathletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(5), pp.327-333.

- Pendergast, D.R., Mollendorf, J. C., Cuvillo, R. & Termin, A. C., 2006. Application of theoretical principles to swimsuit drag reduction. *Sports Engineering*, 9(2), pp.65-76.
- Pereira, A.C., Brezet, H., Pereira, H. & Vogtländer, J., 2012. Cork and sustainability: Discussing the sustainable use of the material from a design perspective. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 17(3), pp.360-363.
- Perret, B., Schartel, B., Stöß, K., Ciesielski, M., Diederichs, J., Döring, M., Krämer, J. & Altstädt, V., 2011. Novel DOPO-based flame retardants in high-performance carbon fibre epoxy composites for aviation. *European Polymer Journal*, 47(5), pp.1081-1089.
- Pilão, R., Ramalho, E. & Pinho, C., 2004. Influence of initial pressure on the explosibility of cork dust/air mixtures. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17, pp.87-96.
- Pinaud, G., Eekelen, A.J. Van & Bouilly, J.-M., 2012. AEROFAST: Development of cork TPS Material and a 3D comparative THERMAL/ABLATION ANALYSIS OF AN APOLLO & A BICONIC SLED SHAPE FOR AN Aerocapture Mission. *Funded under the 7th Framework Program (FP7) of the European Community*, p.13.
- Poorzeinolabedin, M. & Golzar, M., 2011. Improving the Woven Glass / Epoxy Composite for Automobile Exterior Body Cover. *Materials and Manufacturing Processes*, (April 2015), pp.37-41.
- Pope, A., Barlow, J.B. & Rae, W.H.J., 1999. *LOW-SPEED WIND TUNNEL TESTING* Third Edit., A Wiley-Interscience Publication.
- Qin, W., Vautard, F., Drzal, L. T. & Yu, J., 2015. Mechanical and electrical properties of carbon fiber composites with incorporation of graphene nanoplatelets at the fiber-matrix interphase. *Composites Part B: Engineering*, 69, pp.335-341.
- Quesne, B., Reverdy-Bruas, N., Beneventi, D., Chaussy, D. & Belgacem, M. N., 2014. Surface characterization of industrial flexible polyvinyl(chloride) films. *Applied Surface Science*, 296, pp.147-153.
- Ristic, S., 2007. Flow Visualisation Techniques in Wind Tunnels Part I - Non optical Methods. *Scientific Technical Review*, LVII(1), pp.39-50.
- Rives, J., Fernandez-Rodriguez, I., Rieradevall, J. & Gabarrell, X., 2013. Integrated environmental analysis of the main cork products in southern Europe (Catalonia - Spain). *Journal of Cleaner Production*, 51, pp.289-298.

- Sanchez-Saez, S., García-Castillo, S. K., Barbero, E. & Cirne, J., 2015. Dynamic crushing behaviour of agglomerated cork. *Materials & Design*, 65, pp.743-748.
- Savage, G., 2010. Formula 1 Composites Engineering. *Engineering Failure Analysis*, 17(1), pp.92-115.
- Savage, G., 2009. Sub-critical crack growth in highly stressed Formula 1 race car composite suspension components. *Engineering Failure Analysis*, 16, pp.608-617.
- Schlichting, H., 2001. Boundary Layer Theory. *Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS*, 20, pp.155-162.
- Schripp, T., Salthammer, T., Fauck, C., Bekö, G. & Weschler, C. J., 2014. Latex paint as a delivery vehicle for diethylphthalate and di-n-butylphthalate: Predictable boundary layer concentrations and emission rates. *Science of the Total Environment*, 495, pp.299-305.
- Shyni, K., Hema, G. S., Ninan, G., Mathew, S., Joshy, C. G. & Lakshmanan, P. T., 2014. Isolation and characterization of gelatin from the skins of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), dog shark (*Scoliodon sorrakowah*), and rohu (*Labeo rohita*). *Food Hydrocolloids*, 39, pp.68-76.
- Silva, M., Catarino, A., Carvalho, H., Rocha, A., Monteiro, J. & Montagna, G., 2009. Study of vital sign monitoring with textile sensors in swimming pool environment. *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, 1, pp.4426-4431.
- Silva Pereira, C., Soares, Giselle A. M., Oliveira, A. C., Emília Rosa, M., Pereira, H. Moreno, N. & Vitória San Romão, M., 2006. Effect of fungal colonization on mechanical performance of cork. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 57, pp.244-250.
- Silva, S.P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Boesel, L. F. & Reis, R. L., 2005. Cork: properties, capabilities and applications. *International Materials Reviews*, 50(6), pp.345-365.
- Smith, C.J.E., Higgs, M.S. & Baldwin, K.R., 1999. Advances in Protective Coatings and their Application to Ageing Aircraft. *RTO AVT Workshop*, p.15.
- Smith, G.B., Gentle, A., Swift, P. D., Earp, A. & Mronga, N., 2003. Coloured paints based on iron oxide and silicon oxide coated flakes of aluminium as the pigment, for energy efficient paint: Optical and thermal experiments. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 79(2003), pp.179-197.
- Stevenson, T.J., 2012. *Simulation of ground vehicle aerodynamics applied to a generic Le Mans prototype*. University of the Witwatersrand, Johannesburg.

- Sudin, M.N., Abdullah, M. A., Shamsuddin, S. A., Ramli, F. R. & Mohd, M., 2014. Review of Research on Vehicles Aerodynamic Drag Reduction Methods. *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, 14(02), pp.35-47.
- Swolfs, Y., Mcmeeking, R. M., Verpoest, I. & Gorbatiikh, L., 2015. The effect of fibre dispersion on initial failure strain and cluster development in unidirectional carbon / glass hybrid composites. *Composites: Part A*, 69, pp.279-287.
- Tandel, G., Makwana, M. & Patel, J., 2014. Experimental Aerodynamic Analysis of Automobile Vehicle. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(2), pp.2502-2505.
- Tomikawa, M., Shimoyama, Y. & Nomura, T., 2008. Factors related to the advantageous effects of wearing a wetsuit during swimming at different submaximal velocity in triathletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(4), pp.417-423.
- Torkar, M. & Godec, M., 2003. Surface defects in car paint from recombination of atomic hydrogen. *Engineering Failure Analysis*, 10(3), pp.325-328.
- Tropea, C., Yarin, A.L. & Foss, J.F., 2007. *Aerodynamics - Part C, Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics*, pp. 1043-1080.
- Trzcinska, B., Zieba-Palus, J. & Koscielniak, P., 2013. Examination of Car Paint Samples Using Visible Microspectrometry for Forensic Purposes. *Analytical Letters*, 46(February), pp.1267-1277.
- Unterweger, C., Duchoslav, J., Stifter, D. & Fürst, C., 2015. Characterization of carbon fiber surfaces and their impact on the mechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 108, pp.41-47.
- Vabrik, R., Bertóti, I., Czajlik, I., Túry, G., Keresztes, Z., Ille, A., Rusznák, I., Víg, A., & Klámán, E., 1999. Combined AFM/XPS study of the failure surfaces in the PVC film/adhesive/glass system. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 13(1), pp.97-107.
- Viken, J.K., Viken, S. A., Pfenninger, W., Campbell, R. L. & Morgan Jr., H. L., 1987. Design of the Low-Speed NLF (1)-0414F and the High-Speed HSNLF (1)-0213 Airfoils with High-lift systems. *Natural Laminar Flow and Laminar Flow Control Symposium*, (1), pp.637-671.
- Wang, L., Zhang, J. Yang, X., Zhang, C., Gong, W. & Yu, J., 2014. Flexural properties of epoxy syntactic foams reinforced by fiberglass mesh and / or short glass fiber. *Materials and Design*, 55, pp.929-936.

- Wang, Y.N., Tseng, C. Y., Huang, Y. L. & Leong, J. C., 2010. Investigation of 2004 Ferrari Formula One race car wing effects. *3CA 2010 - 2010 International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation*, 1, pp.85-88.
- Weng, W., Tang, L., Wang, B., Chen, J., Su, W., Osako, K. & Tanaka, M., 2014. Antioxidant properties of fractions isolated from blue shark (*Prionace glauca*) skin gelatin hydrolysates. *Journal of Functional Foods*, 11, pp.342-351.
- Willemsen, E., Pengel, K., Holthusen, H. & Küpper, A., 2011. Automotive Testing in the German-Dutch Wind Tunnels 1o edition. *E. by P. M. Chiaberge, ed., Rijeka, Croatia: Intech*, p.394.
- Yang, C., Li, G., Qi, R. & Huang, M., 2011. Glass Fiber/Wood Flour Modified High Density Polyethylene Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(7), pp.2084-2089.
- Yildirim, E., Onwudili, J. a. & Williams, P.T., 2014. Recovery of carbon fibres and production of high quality fuel gas from the chemical recycling of carbon fibre reinforced plastic wastes. *The Journal of Supercritical Fluids*, 92, pp.107-114.
- Zahorski, T., 2013. Application of solid paint coating on aircraft. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 20(4), p.8.
- Zhang, X., Toet, W. & Zerihan, J., 2006. Ground effect aerodynamics of racing cars. *ASME*, 59(January), p.17.
- Zhao, D., Tian, Q., Wang, M. & Jin, Y., 2014. Study on the Hydrophobic Property of Shark-Skin-Inspired Micro-Riblets. *Journal of Bionic Engineering*, 11(2), pp.296-302.
- Zhao, D.Y., Huang, Z. P., Wang, M. J., Wang, T. & Jin, Y., 2012. Vacuum casting replication of micro-riblets on shark skin for drag-reducing applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(1), pp.198-202.
- Zhigang, Y., Wenjun, G. & Qiliang, L., 2011. Aerodynamic design optimization of race car rear wing. *Proceedings - 2011 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, CSAE 2011*, 3, pp.642-646.
- Zhou, Q., Xiong, J., Chen, L., Ma, H. & Tao, Y., 2012. Surface Pressure Measurements on Supercritical Airfoil Employing Pressure -Sensitive Paint. *Procedia Engineering*, 31, pp.1160-1167.

Zieba-Palus, J., Zadora, G. & Milczarek, J.M., 2008. Differentiation and evaluation of evidence value of styrene acrylic urethane topcoat car paints analysed by pyrolysis-gas chromatography. *Journal of chromatography. A*, 1179(1), pp.47-58.

Anexo

ANEXO 1. REGULAMENTO TÉCNICO PARA O PROTÓTIPO LMP1

FIA

LMP1 / LMP1

Règlement Technique pour Prototype LMP1 2015 2015 Technical Regulations for LMP1 Prototype

Article modifié - Modified Article

Date d'application - Date of application

Date de publication - Date of publication

ART. 1	DEFINITIONS	DEFINITIONS
1.1	<p>"LE MANS" PROTOTYPE ("LM" P1)</p> <p>C'est une voiture de compétition fermée sans minimum de production exigé.</p>	<p>"LE MANS" PROTOTYPE ("LM" P1)</p> <p>This is a racing closed car with no production minimum required.</p>
1.1.1	<p>La catégorie "LE MANS" PROTOTYPE 1 comprend :</p> <ul style="list-style-type: none"> • "LE MANS" PROTOTYPE 1 : sans Système de Récupération de l'Energie (ERS), réservée uniquement aux Privés. • "LE MANS" PROTOTYPE 1 Hybrid ("LM" P1-H) : avec Système de Récupération de l'Energie (ERS). 	<p>"LE MANS" PROTOTYPE 1 category includes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • "LE MANS" PROTOTYPE 1 : with no Energy Recovery System (ERS) reserved only for privateers. • "LE MANS" PROTOTYPE 1 Hybrid ("LM" P1-H): with Energy Recovery System (ERS).
1.2	<p>Techniques non conventionnelles</p> <p>Les voitures dont les caractéristiques techniques sont considérées comme non habituelles en compétition peuvent être admises :</p> <ul style="list-style-type: none"> • sur la base de règlements spécifiques afin de respecter l'équilibre des performances entre les voitures ainsi que les exigences de sécurité, • à condition de respecter les règles établies par l'administration et par l'ASN du pays dans lequel l'épreuve est organisée. 	<p>Non conventional specifications</p> <p>Car with specifications which are considered today as unusual in motor racing may be eligible:</p> <ul style="list-style-type: none"> • on the basis of special regulations so as to maintain the balance of performance between the cars as well as the safety requirements; • provided the rules established by the administration and by the ASN of the country where the event is organised are respected.
1.3	<p>Fiche d'Homologation</p> <p>Les prototypes "LM" P1 doivent correspondre à la Fiche d'Homologation remplie par le Constructeur et validée après inspection contradictoire effectuée par le "Groupe Homologation". Voir Annexe H "Homologation".</p>	<p>Homologation Form</p> <p>Prototypes "LM" P1 cars shall comply with the Homologation Form filled by the Manufacturer and agreed after the contradictory inspection carried out by the "Homologation Group". See Appendix H "Homologation".</p>
1.4	<p>Éléments mécaniques</p> <p>Tous les éléments nécessaires à la propulsion, à la suspension, à la direction et au freinage, ainsi que tous les accessoires, mobiles ou non, qui sont nécessaires à leur fonctionnement normal.</p>	<p>Mechanical components</p> <p>All those necessary for the propulsion, suspension, steering and braking, as well as all accessories, whether moving or not, which are necessary for their normal working.</p>
1.5	<p>Châssis et bras de suspension</p> <p><u>Châssis :</u> Partie entièrement suspendue de la structure du véhicule, à laquelle les charges de suspension et/ou des ressorts sont transmises, s'étendant longitudinalement de la fixation de suspension sur le châssis la plus en avant à la fixation de suspension sur le châssis la plus en arrière. Les éléments mécaniques ne font pas partie du châssis même s'ils sont complètement ou partiellement porteurs.</p> <p><u>Bras de suspension :</u> Toutes les connexions entre les masses suspendues et les masses non suspendues, y compris celles qui transfèrent la charge du porte-moyeu au châssis / boîte de vitesses.</p>	<p>Chassis and suspension arms</p> <p><u>Chassis :</u> Entirely sprung part of the structure of the vehicle, to which all the suspension and/or spring loads are transmitted, extending longitudinally from the foremost suspension mounting point on the chassis to the rearmost suspension mounting point on the chassis. Mechanical components are not part of the chassis even if they are fully or partially load-bearing.</p> <p><u>Suspension arms :</u> All connections from sprung masses to un-sprung masses including those that transfer load from the upright to the chassis / gearbox.</p>
1.6	<p>Carrosserie</p> <p>La carrosserie concerne les parties suspendues de la voiture léchées par l'air extérieur à l'exception des parties liées au fonctionnement mécanique du moteur, de la transmission et des trains roulants.</p>	<p>Bodywork</p> <p>The bodywork concerns all entirely sprung parts of the car in contact with the external air stream apart from parts in relation to the mechanical functioning of the engine, of the drive train and of the running gears.</p>
1.7	<p>Prises d'air</p> <p>Les prises d'air font partie de la carrosserie.</p>	<p>Air intakes</p> <p>Air intakes are part of the bodywork.</p>

Figura 99: Regulamento técnico para o Protótipo LMP1 (FIA 2014).

Anexos

ANEXO 2. DESENHOS 2D

ANEXO 3. CD EM FUNÇÃO DO RE

Tabela 11: Re em função da largura do veículo.

Experimental		
Cd	Re	U [m/s]
0,232	9,61E+04	7,405
0,235	2,60E+05	20
0.238	4,28E+05	33
Extrapolação		
Cd	Re	U [m/s]
0.250	1,17E+07	900

ANEXO 4. ESPESSURA MÉDIA DOS MATERIAIS

Tabela 12: Valores médios, desvio padrão (S), coeficiente de variação (%) e erro-padrão da espessura dos diversos materiais.

	Arena	Jaked	Cortiça	Vinil	Speedo c/revestimento	Speedo s/revestimento
Ensaio	Valor [μm]	Valor [μm]	Valor [μm]	Valor [μm]	Valor [μm]	Valor [μm]
1	287,0	43,7	403,0	112,0	253	231
2	279,0	51,9	401,0	113,0	273	226
3	252,0	51,3	404,0	111,0	272	198
4	256,0	43,7	390,0	113,0	288	217
5	321,0	42,2	406,0	109,0	268	225
6	289,0	48,1	408,0	103,0	268	224
7	297,0	51,8	403,0	106,0	280	249
8	-	51,1	404,0	108,0	278	238
9	-	53,1	-	104,0	277	250
10	-	51,8	-	104,0	275	221
11	-	48,5	-	-	269	252
12	-	63,1	-	-	274	
13	-	61,3	-	-	272	
14	-	52,8	-	-		
15	-	67,0	-	-		
Média	280,125	52,093	402,375	108,3	272,846	230,091
Desvio Padrão (S)	23,485	7,066	5,423	3,889	8,102	16,312
Coeficiente de variação (%)	8,384	13,565	1,348	3,591	2,969	7,089
Erro-Padrão	8,303	1,666	1,917	1,230	2,247	4,918

ANEXO 5. PERFIL DE VELOCIDADES AO LONGO DA SECÇÃO DE ENSAIOS

Tabela 13: Valores do perfil de velocidades ao longo da secção de ensaios.

x [mm]	U [m/s]	x [mm]	U [m/s]	x [mm]	U [m/s]
0	0	300	7,4	600	7,4
10	3,2	310	7,4	610	7,4
20	5,4	320	7,4	620	7,4
30	6,8	330	7,4	630	7,4
40	7,3	340	7,4	640	7,4
50	7,4	350	7,4	650	7,4
60	7,4	360	7,4	660	7,4
70	7,4	370	7,4	670	7,4
80	7,4	380	7,4	680	7,4
90	7,4	390	7,4	690	7,4
100	7,4	400	7,4	700	7,4
110	7,4	410	7,4	710	7,4
120	7,4	420	7,4	720	7,4
130	7,4	430	7,4	730	7,4
140	7,4	440	7,4	740	7,4
150	7,4	450	7,4	750	7,3
160	7,4	460	7,4	760	7,2
170	7,4	470	7,4	770	6,7
180	7,4	480	7,4	780	5,1
190	7,4	490	7,4	790	2,7
200	7,4	500	7,4	800	0
210	7,4	510	7,4		
220	7,4	520	7,4		
230	7,4	530	7,4		
240	7,4	540	7,4		
250	7,4	550	7,4		
260	7,4	560	7,4		
270	7,4	570	7,4		
280	7,4	580	7,4		
290	7,4	590	7,4		

ANEXO 6. COORDENADAS DAS TOMADAS DE PRESSÃO

Tabela 14: Coordenadas das tomadas de pressão na superfície superior

Coordenadas das tomadas de pressão na superfície superior											
Ref.	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
x	0	48	100	144	187	230	273	316	360	415	465
x/C [%]	0	10,34	21,53	31,01	40,27	49,53	58,73	68,04	77,52	89,36	100
y	31	45	68	93	100	98	81	62	43	39	31
y/C [%]	6,68	9,69	14,64	20,03	21,53	21,10	17,44	13,35	9,26	8,40	6,68

Tabela 15: Coordenadas nas tomadas de pressão na superfície inferior

Coordenadas das tomadas de pressão na superfície inferior														
Ref	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
x	175	196	217	238	259	280	301	322	343	364	385	406	427	448
x/C [%]	37,6	42,2	46,7	51,2	55,7	60,2	64,8	69,3	73,8	78,3	82,9	87,4	91,9	96,4
y	5	5	5	5	5	5	7	9,5	11,5	14	16,5	19	21	25
y/C [%]	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,51	2,05	2,48	3,01	3,55	4,09	4,52	5,38

ANEXO 7. ALTURAS MANOMÉTRICAS DAS VÁRIAS TOMADAS DE PRESSÃO

Tabela 16: Alturas manométricas na superfície superior

Alturas manométricas na superfície superior									
Ref.	Fibra de carbono	Fibra de vidro	Fato Jaked	Fato Arena	Fato Speedo	Cortiça	Película de vinil	Tinta de automóvel	Tinta de aeronáutica
Ps	-4	-3	-4	-4	-4	-6	-4	0	0
Pt	0	2	6	8	6	10	10	6	6
HB	0	0	0	6	0	4	0	6	4
HC	-4	-4	-4	0	-4	-4	0	-2	0
HD	-2	0	-2	2	0	0	2	2	2
HE	-2	-2	-2	0	-4	-4	0	0	0
HF	-4	-5	-2	-4	-2	-3	-2	-3	-2
HG	-4	-5	-2	-4	-2	-3	-2	-3	-2
HH	-4	-2	-2	-4	-2	-3	-3	-2	-2
HI	-4	-2	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2
HJ	-4	-2	-2	-4	-2	-3	-3	-2	-2
HK	-4	-2	-2	-4	-2	-3	-3	-2	-2
HL	-4	-2	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2

Tabela 17: Alturas manométricas na superfície inferior

Alturas manométricas na superfície inferior									
Ref.	Fibra de carbono	Fibra de vidro	Fato Jaked	Fato Arena	Fato Speedo	Cortiça	Película de vinil	Tinta de automóvel	Tinta de aeronáutica
H1	-4	-3	-6	-4	-5	-6	-3	-5	-5
H2	-4	-3	-6	-4	-5	-4	-3	-4	-4
H3	-4	-4	-6	-4	-5	-4	-3	-4	-4
H4	-4	-4	-6	-4	-5	-4	-3	-3	-4
H5	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-3	-3	-4
H6	-4	-4	-4	-4	-5	-4	-3	-3	-3
H7	6	5	4	5	2	6	4	1	4
H8	-3	-3	-4	-2	-4	-2	-2	-3	-2
H9	-3	-3	2	-2	-3	-2	-2	-3	-2
H10	-4	-4	-4	-2	-5	-2	-2	-3	-2
H11	-4	-4	-4	-2	-4	-2	-2	-2	-2
H12	-4	-4	-4	-2	-4	-2	-2	-2	-2
H13	-3	-3	-4	2	-2	-2	2	2	-2
H14	-4	-4	-4	-4	-4	-0	-4	-4	-4

ANEXO 8. COEFICIENTE DE PRESSÃO (CP)

Tabela 18: Coeficiente de pressão (CP) na superfície superior.

Coeficiente de pressão (CP) na superfície superior									
Ref.	Fibra de carbono	Fibra de vidro	Fato Jaked	Fato Arena	Fato Speedo	Cortiça	Película de vinil	Tinta de automóvel	Tinta de aeronáutica
HB	1,000	0,600	0,400	0,833	0,400	0,625	0,286	1,000	0,667
HC	0,000	-0,200	0,000	0,333	0,000	0,125	0,286	-0,333	0,000
HD	0,500	0,600	0,200	0,500	0,400	0,375	0,429	0,333	0,333
HE	0,500	0,200	0,200	0,333	0,000	0,125	0,286	0,000	0,000
HF	0,000	-0,400	0,200	0,000	0,200	0,188	0,143	-0,500	-0,333
HG	0,000	-0,400	0,200	0,000	0,200	0,188	0,143	-0,500	-0,333
HH	0,000	0,200	0,200	0,000	0,200	0,188	0,071	-0,333	-0,333
HI	0,000	0,200	0,200	0,000	0,000	0,188	0,071	-0,333	-0,333
HJ	0,000	0,200	0,200	0,000	0,200	0,188	0,071	-0,333	-0,333
HK	0,000	0,200	0,200	0,000	0,200	0,188	0,071	-0,333	-0,333
HL	0,000	0,200	0,200	0,000	0,000	0,188	0,071	-0,333	-0,333

Tabela 19: Coeficiente de pressão (CP) na superfície inferior.

Coeficiente de pressão (CP) na superfície inferior									
Ref.	Fibra de carbono	Fibra de vidro	Fato Jaked	Fato Arena	Fato Speedo	Cortiça	Película de vinil	Tinta de automóvel	Tinta de aeronáutica
H1	0,000	0,000	-0,200	0,000	-0,100	0,000	0,071	-0,833	-0,833
H2	0,000	0,000	-0,200	0,000	-0,100	0,125	0,071	-0,667	-0,667
H3	0,000	-0,200	-0,200	0,000	-0,100	0,125	0,071	-0,667	-0,667
H4	0,000	-0,200	-0,200	0,000	-0,100	0,125	0,071	-0,500	-0,667
H5	0,000	-0,200	0,000	0,000	-0,100	0,125	0,071	-0,500	-0,667
H6	0,000	-0,200	0,000	0,000	-0,100	0,125	0,071	-0,500	-0,667
H7	2,500	1,600	0,800	0,750	0,600	0,750	0,571	0,167	0,667
H8	0,250	0,000	0,000	0,167	0,000	0,250	0,143	-0,500	-0,333
H9	0,250	0,000	0,600	0,167	0,100	0,250	0,143	-0,500	-0,333
H10	0,000	-0,200	0,000	0,167	-0,100	0,250	0,143	-0,500	-0,333
H11	0,000	-0,200	0,000	0,167	0,000	0,250	0,143	-0,333	-0,333
H12	0,000	-0,200	0,000	0,167	0,000	0,250	0,143	-0,333	-0,333
H13	0,250	0,000	0,000	0,500	0,200	0,250	0,429	0,333	-0,333
H14	0,000	-0,200	0,000	0,000	0,000	0,375	0,000	-0,667	-0,667

ANEXO 9. CÁLCULO DO Cx

Tabela 20: Cx na superfície superior.

Cx na superfície superior										
Ref.	y/c %	Fibra de carbono	Fibra de vidro	Fato Jaked	Fato Arena	Fato Speedo	Cortiça	Película de vinil	Tinta de automóvel	Tinta de aeronáutica
HB	6,68	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HC	9,69	0,000	-0,086	-0,043	0,072	-0,043	-0,013	0,000	0,000	0,072
HD	14,64	0,323	0,258	0,000	0,323	0,258	0,121	0,000	0,431	0,431
HE	20,03	0,646	0,000	0,000	0,431	-0,258	-0,081	0,000	0,431	0,431
HF	21,53	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HG	21,10									
HH	17,44									
HI	13,35									
HJ	9,26									
HK	8,40									
HL	6,68									
As total	-	0,969	0,172	-0,043	0,825	-0,043	0,027	0,000	0,861	0,933

Tabela 21: Cx na superfície inferior.

Cx na superfície inferior										
Ref.	y/c %	Fibra de carbono	Fibra de vidro	Fato Jaked	Fato Arena	Fato Speedo	Cortiça	Película de vinil	Tinta de automóvel	Tinta de aeronáutica
H1	1,08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H2	1,08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H3	1,08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H4	1,08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H5	1,08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H6	1,08	0,538	0,388	0,172	0,161	0,151	0,135	0,000	0,144	0,287
H7	1,51									
H8	2,05	0,000	0,000	0,129	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
H9	2,48									
H10	3,01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000	0,045	0,000
H11	3,55									
H12	4,09	0,054	0,043	0,000	0,072	0,043	0,000	0,000	0,144	0,000
H13	4,52									
H14	5,38									
Ai total	-	0,592	0,431	0,301	0,233	0,242	0,135	0,000	0,332	0,287

ANEXO 10. CÁLCULO DO CD

Tabela 22: Cd resultante da esteira na traseira do veículo.

	Fibra de carbono	Fibra de vidro	Fato Jaked	Fato Arena	Fato Speedo	Cortiça	Película de vinil	Tinta de automóvel	Tinta de aeronáutica
Ref.	140	140	140	120	160	120	160	120	140
0	6,1	6,5	6,4	6	6,5	5	6,7	4	4,2
20	4,2	5,4	4,5	3,9	4,3	3,2	4,6	3,7	3,6
40	3,9	4,7	4	3,6	3,8	2,8	3,9	2,5	3,2
60	3,8	4,3	3,8	3,5	3,6	2,2	3,8	1,7	3
80	3,9	4,1	4,3	3,8	4,1	3,8	4,3	3	3,5
100	4,5	4,2	4,9	4	5	4	5,1	3,7	4
120	5	4,6	5,5	4,5	5,6	4,5	5,9	4,1	4,7
140	5,5	5,2	6,8	4,8	6,7	4,8	6,9	4,9	5,2
160	6,7	6	7	5	6,9	5	7,1	5,5	6
180	7	6,8	7,3	6,9	7,1	6,9	7,3	6,4	6,8
200	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
As total	3,572	3,587	3,606	3,561	3,575	3,501	3,645	3,459	3,422