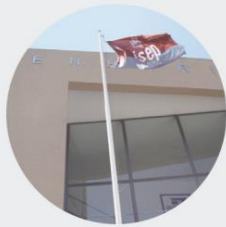


INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

isep



Tábua de skate em resina de poliéster reforçada com
fibra de vidro

Gonçalo Carneiro Maia

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica.

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



6 de janeiro de 2015

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano do Mestrado em Energias

Candidato: Gonçalo Carneiro Maia, N° 1080817, 1080817@isep.ipp.pt

Orientação Científica: Professor João Francisco Silva, JFS@isep.ipp.pt

Mestrado em Engenharia Mecânica
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



6 de janeiro de 2015

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao orientador da minha tese de mestrado, Professor João Francisco Machado Gomes da Silva, por todo apoio, tanto teórico como prático, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho. Gostaria também de agradecer ao Professor Mário Rui Alvim de Castro por ter fornecido com toda a simpatia alguns dos materiais utilizados na construção de alguns protótipos e também à Engenheira Sónia Marisa Maciel Leitão Correia pela sua disponibilidade e prontidão em resolver assuntos relacionados com a minha utilização do Laboratório de Materiais Compósitos do ISEP. Também um agradecimento especial ao meu pai que me ajudou bastante ao longo de todo o trabalho.

Resumo

Os materiais compósitos são conhecidos pelas suas excelentes propriedades específicas, resistência à corrosão e pela facilidade com que se podem fabricar em formas complexas. Estas características, aliadas ao baixo preço da resina de poliéster e dos reforços de fibra de vidro, tornam possível o estudo da sua utilização como material de base para o fabrico de tábuas de skate do ponto de vista de produção em série.

As tábuas atualmente existentes no mercado são de madeira, material que ao fim de algumas utilizações se começa a desgastar, limitando assim o seu uso. Este desgaste das tábuas passa por numa primeira fase a madeira começar a amolecer, dando lugar ao aparecimento de lascas na tábua, acabando na inevitável fractura.

A utilização de materiais compósitos baseados em reforços de fibras de vidro poderá proporcionar uma melhor resistência ao desgaste assim como também inovar no design das tábuas.

Assim, o objectivo desta dissertação será o estudo e o fabrico de um protótipo funcional de uma tábua de skate, em material compósito, com um desempenho superior ao das atualmente existentes no mercado, fabricadas em madeira.

Índice

Agradecimentos	4
Resumo	5
Índice	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tabelas	10
1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO TRABALHO	11
1.1 Introdução	12
1.2 Objectivo da dissertação.....	18
2. ESTADO DA ARTE	19
2.1 Introdução	20
2.2 Matrizes.....	20
2.2.1 Matrizes poliméricas	21
2.2.1.1 Termoendurecíveis	21
2.2.1.1.1 Resina de poliéster insaturado.....	22
2.3 Fibras de reforço	23
2.3.1 Fibras sintéticas	24
2.3.1.1 Fibras de vidro.....	24
3. TÉCNICAS DE MOLDAÇÃO DE COMPÓSITO	26
3.1 Moldação manual	27
3.2 Moldação por compressão.....	28
3.3 Moldação por RTM e RTM-Light (resin transfer moulding).....	28
3.4 Moldação por infusão a vácuo	30
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	32
4.1 Estudo preliminar- 1º protótipo.....	33
4.2 Construção da Prensa	38
4.3 Construção dos Moldes	40
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	44
5.1 Introdução	45
5.2 Protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliéster e núcleo tipo ninho de abelha	45

5.2.1 Protótipo nº1.....	46
5.2.2 Protótipo nº2.....	47
5.3 Protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliester.....	48
5.3.1 Protótipo nº3.....	48
5.3.2 Protótipo nº4.....	50
5.3.3 Protótipo nº5.....	51
5.3.4 Protótipo nº6.....	51
5.4 Protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliester e diversos materiais de núcleo.....	53
5.4.1 Protótipo nº7.....	53
5.4.2 Protótipo nº8.....	54
5.4.3 Protótipo nº9.....	55
5.5 Continuação da construção de protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliester.....	57
5.5.1 Protótipo nº10.....	57
5.5.2 Protótipo nº11.....	61
5.5.3 Protótipo nº12.....	62
5.5.4 Protótipo nº13.....	62
5.5.5 Protótipo nº14.....	63
5.5.6 Protótipo nº15.....	65
5.5.7 Protótipo nº16.....	65
5.5.8 Protótipo nº17.....	66
5.6 Protótipos em compósito de fibra de vidro, resina de poliester e perfis pultrudidos como material de núcleo.....	68
5.6.1 Protótipo nº18.....	68
5.6.2 Protótipo nº 19.....	70
5.6.3 Protótipo nº20.....	71
5.6.4 Protótipo nº21.....	73
5.6.5 Protótipo nº22.....	74
5.7 Protótipos em compósito de fibra de vidro, resina de poliester, perfis pultrudidos e ninho de abelha como material de núcleo.....	75
5.7.1 Protótipo nº23.....	75
5.7.2 Protótipo nº24.....	77
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

Índice de figuras

<i>Figura 1 – Diferentes tipos de ‘shapes’</i>	12
<i>Figura 2 – Exemplo dos primeiros skates</i>	12
<i>Figura 3 – Exemplo dos primeiros skates</i>	13
<i>Figura 4 – Evolução das tábuas de skate</i>	13
<i>Figura 5 – Continuação da evolução das tábuas de skate</i>	14
<i>Figura 6 – Estado actual do skate</i>	15
<i>Figura 7 – Estado actual do skate</i>	16
<i>Figura 8 – Várias dimensões para uma tábua de skate</i>	16
<i>Figura 9 - Shape mais utilizado nas tábuas de skate actuais</i>	17
<i>Figura 10 – Tábua de madeira reforçada com fibra de kevlar</i>	17
<i>Figura 11 – Flecha de uma tábua de madeira</i>	18
<i>Figura 12 – Exemplo do processo de moldação manual</i>	27
<i>Figura 13 – Moldação por compressão</i>	28
<i>Figura 14 – Moldação por RTM</i>	29
<i>Figura 15 – Moldação por RTM-Light</i>	29
<i>Figura 16 – Moldação por infusão a vácuo</i>	31
<i>Figura 17 – Tábua de skate em fibra de carbono</i>	33
<i>Figura 18 – Longboard em madeira e fibra de carbono</i>	34
<i>Figura 19 – Tábua de madeira reforçada com fibra de kevlar</i>	34
<i>Figura 20 – Molde inicial</i>	35
<i>Figura 21 – Molde inicial</i>	36
<i>Figura 22 – Primeiro protótipo</i>	37
<i>Figura 23 – Primeiro protótipo</i>	37
<i>Figura 24 - Prensa</i>	38
<i>Figura 25 – Prensa</i>	39
<i>Figura 26 – Macaco hidráulico</i>	39
<i>Figura 27 – Aspecto final da prensa</i>	40
<i>Figura 28 – Tábua virgem</i>	41
<i>Figura 29 – Molde inferior</i>	42
<i>Figura 30 – Molde superior</i>	42
<i>Figura 31 – Aspecto final do conjunto prensa e moldes</i>	43
<i>Figura 32 – Núcleo tipo ninho de abelha</i>	45
<i>Figura 33 – Protótipo nº1</i>	47
<i>Figura 34 – Protótipo nº1</i>	46
<i>Figura 35 – Protótipo nº2</i>	47
<i>Figura 36 – Protótipo nº3</i>	50
<i>Figura 37 – Protótipo nº3</i>	49
<i>Figura 38 – Protótipo nº4</i>	51
<i>Figura 39 – Protótipo nº4</i>	50
<i>Figura 40 – Protótipo nº5</i>	52
<i>Figura 41 – Protótipo nº5</i>	51
<i>Figura 42 - Protótipo nº6</i>	53
<i>Figura 43 – Protótipo nº6</i>	52
<i>Figura 44 – Protótipo nº7</i>	55
<i>Figura 45 – Protótipo nº7</i>	54

<i>Figura 46 – Protótipo nº8.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 47 – Protótipo nº8.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 48 – Protótipo nº9.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 49 – Protótipo nº9.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 50 – Esqueleto para o protótipo nº10</i>	<i>57</i>
<i>Figura 51 – Protótipo nº10.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 52 – Protótipo nº10.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 53 – Pormenor da fratura no protótipo nº10</i>	<i>59</i>
<i>Figura 54 – Pormenor da má construção do protótipo nº10.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 55 – Protótipo nº11</i>	<i>61</i>
<i>Figura 56 – Protótipo nº12</i>	<i>62</i>
<i>Figura 57 – Protótipo nº13</i>	<i>63</i>
<i>Figura 58 – Protótipo nº14</i>	<i>64</i>
<i>Figura 59 – Protótipo nº15</i>	<i>65</i>
<i>Figura 60 – Protótipo nº16.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 61 – Protótipo nº17.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 62 – Perfil Pultrudido em ‘U’</i>	<i>69</i>
<i>Figura 63 – Protótipo nº18.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 64 – Protótipo nº19.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 65 – Protótipo nº20.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 66 – Protótipo nº21</i>	<i>73</i>
<i>Figura 67 – Protótipo nº22.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 68 – Protótipo nº23</i>	<i>76</i>
<i>Figura 69 – Protótipo nº24</i>	<i>77</i>
<i>Figura 70 – Flexão verificada no protótipo nº24</i>	<i>81</i>
<i>Figura 71 - Perfil</i>	<i>81</i>

Índice de tabelas

Tabela 1 - Propriedades das fibras de vidro do tipo E,S e R.[2].....22

Tabela 2 – Propriedades de resinas termoendurecíveis[2].....25

1. Enquadramento e objectivos do trabalho

1.1 Introdução

O skate apareceu na Califórnia, EUA, na década de 60 sendo as suas raízes o surf. Como nem sempre as condições do mar permitiam a prática do surf, os seus entusiastas decidiram levar o seu desporto para o alcatrão. Inicialmente um skate não passava de uma tábua de madeira, sem qualquer tipo de ‘shape’ (Figura 2 e 3), ‘nose’ ou ‘tail’, com quatro rodas ligadas a ela por 2 eixos. O ‘shape’ de um skate é a forma que este tem (Figura 1). Ele pode ser mais ou menos côncavo, ser mais ou menos bicudo. O ângulo que o ‘nose’ e o ‘tail’ fazem relativamente ao plano horizontal também varia. O ‘nose’ é a parte da frente da tábua de skate e o ‘tail’ a parte posterior.



Figura 1 – Diferentes tipos de ‘shapes’



Figura 2 – Exemplo dos primeiros skates



Figura 3 – Exemplo dos primeiros skates

Com o passar dos anos começou a haver uma inevitável evolução por parte destes surfistas do alcatrão, que após serem capazes de dar o primeiro ollie (salto) com o skate aperceberam-se que não havia quase limites para o que podia ser feito com ele. Com a evolução dos praticantes deu-se a evolução do skate, ainda que a um ritmo não muito acelerado. Depois das primeiras tábuas primitivas referidas anteriormente, apareceram as primeiras com um tail (Figura 4). A existência deste permitia que os skaters conseguissem saltar mais alto, com maior facilidade.



Figura 4 – Evolução das tábuas de skate

Apesar desta mudança, ainda assim as tábuas continuavam a não corresponder às necessidades dos skaters. Assim sendo apareceram pela primeira vez nos finais dos anos 80 tábuas que para além de um tail tinham um nose, conferindo-lhes a forma que hoje conhecemos. O aparecimento deste nose veio a facilitar a prática do skate já que este permitia que ao saltar o pé da frente ficasse mais aconchegado na tábua. Para além disso também fez com que aparecessem novos tipos de manobras como por exemplo o nollie e o nose slide (Figura 5).

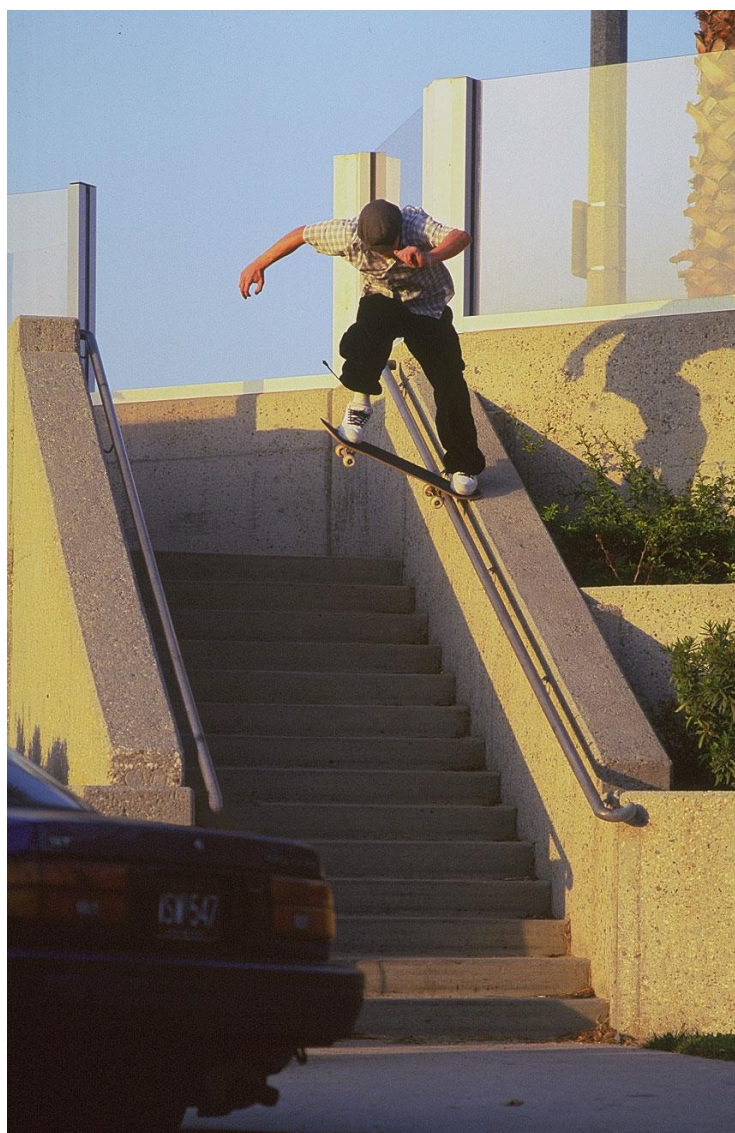


Figura 5 – Continuação da evolução das tábuas de skate

Toda esta evolução tanto por parte dos skaters como das tábuas levou o desporto a um nível nunca antes visto. Enquanto que em décadas passadas o skate era apenas um hobby praticado por muitos, hoje tomou proporções inacreditáveis (só nos Estados Unidos existem cerca de 10 milhões de skaters). Os skaters passaram a ser atletas, existem campeonatos mundiais onde todas as etapas estão esgotadas meses antes, contratos milionários, equipas médicas que os acompanham, videojogos, todas as características de um desporto de massas. Deste modo a competição entre eles é voraz, levando o skate e o skater ao limite. Nenhum corrimão é grande o suficiente e nenhuma escadaria é alta demais (Figura 6 e 7).



Figura 6 – Estado actual do skate



Figura 7 – Estado actual do skate

Actualmente as tábuas de skate são compostas por 7 camadas de madeira, sendo que esta varia dependendo da qualidade do produto, conferindo à tábua uma boa rigidez. No entanto com o passar do tempo e dependendo da utilização a que esta é submetida, a tábua vai-se degradando tornando-se mole e começa a descascar-se ficando progressivamente mais frágil até que a fractura é um fim inevitável. Esta fractura tanto pode ocorrer nas primeiras horas de uso como passado um mês. As dimensões das tábuas variam adaptando-se ao gosto de cada praticante. Como pode ser visto na Figura 8, as tábuas podem variar entre as 6,75 polegadas de largura e 27,75 polegadas de comprimento até as 9 polegadas de largura e 32,2 polegadas de comprimento.

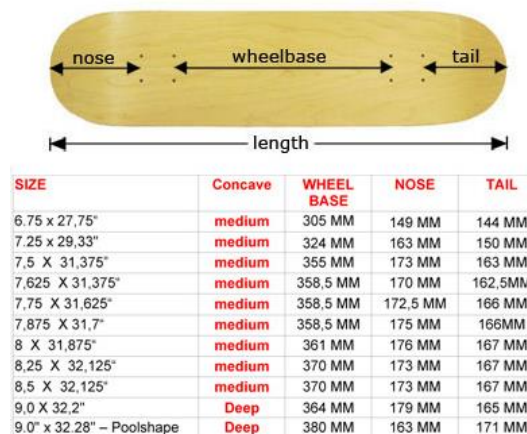


Figura 8 – Várias dimensões para uma tábua de skate

Relativamente à evolução das tábuas, desde que elas assumiram um shape padrão (Figura 9) quase nenhum progresso foi feito tendo em vista o melhoramento das suas características mecânicas.



Figura 9 - Shape mais utilizado nas tábuas de skate actuais

Algumas marcas fizeram pequenas séries de tábuas de madeira onde a camada intermédia era composta por fibra de kevlar (Figura 10), mas devido ao preço, acima dos 100€, e a estas quebrarem não obtiveram uma grande aceitação por parte dos skaters. Actualmente o preço das tábuas convencionais pode variar entre os 40€ e os 70€.



Figura 10 – Tábua de madeira reforçada com fibra de kevlar

É este factor, a fratura do skate, que se pretende contrariar alterando o material pelo qual a tábua é composta, mas matendo as mesmas características essenciais à pratica do desporto sendo elas o peso, o som e a rigidez. Para este projecto vou utilizar as dimensões de 31,875 polegadas de comprimento e 8 polegadas de largura pois são as tábuas com estas dimensões que são mais utilizadas pelos skaters. Relativamente à rigidez, utilizando uma tábua de skate em madeira com as dimensões atrás mencionadas e aplicando-lhe uma força

de 80Kgf no centro verificou-se uma flecha de 5,2mm (Figura 11), sendo este o meu valor de referência aquando a construção dos protótipos.

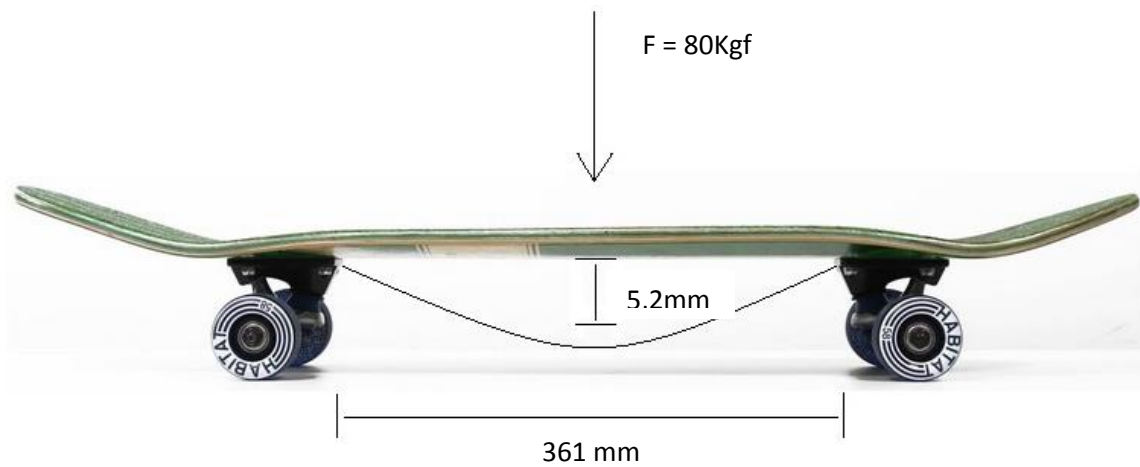


Figura 11 – Flecha de uma tábua de madeira

1.2 Objectivo da dissertação

O objectivo desta dissertação será o estudo e o fabrico de um protótipo funcional de uma tábua de skate, em material compósito, com um desempenho superior ao das atualmente existentes no mercado, fabricadas em madeira.

2. Estado da arte

2.1 Introdução

Actualmente existe uma grande variedade de materiais que são constituídos por duas ou mais fases sendo estes denominados de materiais compósitos. Apesar de esta definição abranger um vasto leque de materiais nesta dissertação apenas se tratará das resinas termoendurecíveis reforçadas com fibras. Estes materiais resultam da conjugação de fibras, sendo estas o material de reforço, com uma matriz, que é um material aglomerante. O reforço confere ao compósito uma maior rigidez e resistência mecânica enquanto que a matriz para além de garantir uma boa transmissão e repartição dos esforços também protege a superfície das fibras. Enquanto os materiais de construção mecânica tradicionais, sofrem um indesejado aumento da fragilidade com o incremento da resistência, os polímeros reforçados com fibras permitem incrementar simultaneamente a resistência e a tenacidade. Para além disso, os materiais compósitos possuem uma elevada resistência específica, leveza, facilidade de processamento e uma enorme liberdade de concepção dos produtos. Por estes motivos, os materiais compósitos difundiram-se ao longo de várias décadas, em áreas tão distintas como a indústria aeronáutica, automóvel, artigos desportivos e ainda a indústria espacial e de defesa [1].

2.2 Matrizes

A matriz é o material com o qual as fibras vão ser impregnadas. Elas podem ser subdivididas em 3 grandes grupos. O primeiro e mais comum é o grupo das matrizes poliméricas, também conhecidas como “resinas” e que podem ser termoendurecíveis ou termoplásticas. O segundo grupo é o das matrizes metálicas que podem envolver virtualmente qualquer metal. Por fim, temos as matrizes cerâmicas [3,7]. Cada grupo tem propriedades típicas distintas que apresentam vantagens e desvantagens mas apenas se vai tratar do grupo das matrizes poliméricas neste trabalho, mais concretamente as matrizes poliméricas termoendurecíveis.

2.2.1 Matrizes poliméricas

As propriedades mecânicas de um componente que são particularmente afetadas pelas propriedades de uma matriz polimérica são a resistência a compressão longitudinal, a tração transversal e a resistência ao cisalhamento inter-laminar. Estas são normalmente chamadas de “propriedades dominadas pela matriz”. Como o nome indica, matrizes poliméricas são constituídas basicamente de polímeros. Estes, por sua vez são longas cadeias moleculares cujo esqueleto é geralmente feito de átomos de carbono. Entre os dois grupos existentes, termoendurecíveis e termoplásticas, a grande diferença reside no seguinte: no caso das resinas termoendurecíveis as moléculas ligam-se umas as outras em vários pontos através de fortes ligações covalentes – a isso se dá o nome de “cross-linking” -, ao passo que nos termoplásticos as ligações intermoleculares são fracas, conhecidas como ligações de Van der Waals. Isso determina que as matrizes termoendurecíveis tenham propriedades mecânicas mais atraentes que as matrizes termoplásticas. No entanto, estas últimas tem a enorme vantagem de poderem ser conformadas através de processos térmicos. De uma maneira geral, a principal desvantagem das matrizes poliméricas é sua baixa tolerância à temperatura.[1,7]

2.2.1.1 Termoendurecíveis

As matrizes termoendurecíveis são constituídas por polímeros em que as moléculas formam estruturas tridimensionais bastante rígidas. Ao contrário dos termoplásticos, as matrizes termoendurecíveis não podem ser reprocessadas pelo que uma vez aquecidas assumem uma forma permanente. Estes polímeros, designados por resinas termoendurecíveis, são frequentemente fornecidos para processamento sob a forma de uma mistura de dois ou três componentes: resina, acelerador e catalisador. Quando estes são misturados na proporção correcta, dá-se a polimerização e a constituição da estrutura tridimensional num processo designado por ‘cura’. Na maior parte dos casos a cura da resina ocorre à temperatura ambiente mas existem algumas que necessitam da aplicação adicional de calor para se efectuar a cura. Uma das principais vantagens das resinas

termoendurecíveis é a maior facilidade de impregnação do reforço visto que, antes da cura, apresentam viscosidades bastante inferiores às dos termoplásticos. As resinas mais utilizadas no fabrico de compósitos para aplicações não-estruturais são os poliésteres insaturados, resinas fenólicas, resinas de vinilester e resinas epóxicas [2,7]. Apesar de haver uma diferença bastante acentuada relativamente às propriedades entre elas (Tabela 1), a resina de poliéster é bastante mais barata quando comparada com as outras, especialmente com a resina epoxi. Posto isto, para a construção das tábuas de skate em fibra de vidro vou utilizar as resinas de poliéster insaturado.

Resina		HDT (°C)	E (Gpa)	σ_u (Mpa)	ϵ_u (%)
Poliéster	ortoftálica	66	3.6	55	2.0
	ortoftálica	95	6.6	70	3.5
	Isoftálica	93	4.1	65	2.5
	Isoftálica	125	3.7	55	1.5
Fenólica	Ressol	250	2.0	32	1.8
Vinilester	Bisfenol A	102	3.5	82	6.0
	Novolac	150	3.5	68	3.5
Epóxicas DGEBA	T _c = 20°C	62	3.2	62	2.0
	T _c = 120°C	121	3.0	90	8.0
Epóxicas DGEBF	T _c = 120°C	110	4.1	125	5.0

Tabela 1 – propriedades de resinas termoendurecíveis [2]

2.2.1.1.1 Resina de poliéster insaturado

As resinas de poliéster insaturado são as mais utilizadas no fabrico de materiais compósitos devido ao seu baixo custo, facilidade de processamento e a um bom compromisso entre as propriedades mecânicas, eléctricas e químicas. A cura tem início logo após a adição de catalizadores, que normalmente são peróxidos orgânicos, e aceleradores à base de cobalto. O processo ocorre em duas fases: inicialmente a resina líquida transforma-se num material gelatinoso, etapa que se designa por ‘ponto de gel’, e posteriormente dá-se o endurecimento final através de um processo exotérmico. A velocidade de reacção depende de vários factores tais como a reactividade da resina, o teor de acelerador e catalizador assim como

as condições ambientais. As resinas de poliéster insaturado estão divididas em três grandes grupos sendo eles as resinas ortoftálicas, isoftálicas e bisfenólicas. A característica que as distingue é a resistência química sendo que as resinas ortoftálicas não têm uma grande resistência e as bisfenólicas podem ser utilizadas em meios bastantes agressivos. Como tal, a resina utilizada para a construção dos protótipos irá ser a resina de poliéster insaturada ortoftálica já que os protótipos nunca serão utilizados em meios agressivos para o mesmo.[2,7]

2.3 Fibras de reforço

O reforço fibroso de um material compósito consiste em milhares de filamentos individuais com diâmetros muito pequenos da ordem de micrómetros, dispersados no material polimérico (matriz). Apesar do papel fundamental no desempenho dos compósitos, devido à pequena secção resistente, as fibras não podem ser directamente utilizadas em aplicações estruturais de engenharia. De facto, cabe à matriz as funções essenciais de dar forma estável ao compósito, de assegurar a distribuição eficiente de carga pelas fibras e de proteger as suas superfícies. As fibras de reforço têm como objectivo aumentar o módulo de elasticidade e a tensão de rotura da matriz. Estas propriedades variam consoante o tipo de reforço a ser utilizado assim como a sua quantidade, orientação e comprimento. Como tal, algumas das formas sobre as quais os reforços podem ser apresentados são:

- Roving, que é basicamente um cordão de filamentos contínuos enrolado helicoidalmente em bobines onde o diâmetro das fibras varia entre 9 e 13 μm .

- Mantas, onde as fibras são distribuídas aleatoriamente e agregadas com um ligante especial em emulsão ou em pó. Existem três tipos fundamentais de mantas: mantas de filamentos cortados, mantas de filamentos contínuos e mantas de superfície. Nas mantas de filamentos cortados as fibras apresentam comprimentos típicos menores do que 50 mm e as propriedades mecânicas são baixas. Nas mantas de filamentos contínuos conseguem-se melhores propriedades do compósito e melhor conformabilidade. As mantas de superfície caracterizam-se pela sua leveza e também por apresentarem um bom acabamento superficial e uma maior resistência química.

- Tecidos entrelaçados, que são produzidos pelo entrelaçamento de fibras segundo direcções perpendiculares. Existem varios tipos de tecidos entrelaçados sendo os mais comuns designados por “plane weave”, “twill weave” e “satin weave”.

- Tecidos quase unidireccionais, que são caracterizados por apresentarem uma elevada predominância de fibras orientadas a 0° onde a principal função é garantir estabilidade, permitindo coloca-las num determinado componente no local exacto pretendido e nas quantidades necessárias.

- Tecidos híbridos, que resultam da combinação de diferentes tipos de fibras aproveitando deste modo as melhores qualidades que cada uma delas tem para oferecer.

- Malhas, que são produzidas pela ligação sucessiva de camadas de fibras alinhadas. As diferentes camadas são cozidas em conjunto conferindo a este tipo de construção uma maior facilidade em distribuir as cargas pela fibra permitindo obter elevados módulos em tracção e em flexão e também uma boa conformabilidade.[2,7]

2.3.1 Fibras sintéticas

As fibras sintéticas mais utilizadas são as fibras de vidro, de carbono e aramídicas. As fibras de vidro são as mais utilizadas não só pelo seu preço muito competitivo mas também porque apresentam boas características mecânicas pelo que podem ser utilizadas em muitos produtos de grande consumo. As fibras de carbono são mais dispendiosas mas também apresentam melhores qualidades mecânicas. Estas são normalmente utilizadas na industria aeroespacial. As fibras aramídicas são apenas utilizadas em aplicações exigentes. Como exemplo deste tipo de fibras temos o Kevlar que possui metade da densidade da fibra de vidro e tem uma força especifica entre as mais altas actualmente disponíveis. [3,7]

2.3.1.1 Fibras de vidro

As fibras de vidro, como dito anteriormente, são o tipo de reforço mais utilizado. A técnica mais comum de as produzir é o estiramento de vidro fundido através de uma fieira em liga de platina-ródio com orifícios de dimensões precisas. As fibras são sujeitas a tratamentos superficiais à saída da fieira. Estes tratamentos variam consoante a aplicação a que as fibras vão ter. Relativamente ao teor alcalino das fibras, este é o principal responsável pela

resistência ao envelhecimento. Fibras com teores alcalinos inferiores a 14% apresentam alterações menos significativas em contacto com agentes atmosféricos ou químicos desfavoráveis. Assim, a fibra do tipo A, fortemente alcalina, foi sendo substituída pela fibra do tipo E, um vidro de borosilicato com baixa quantidade de compostos alcalinos que apresenta boas propriedades eléctricas, mecânicas e químicas. Actualmente pelo menos três tipos de fibras são produzidas sob a forma de fio, casos dos tipos E, S e R. As duas últimas são produzidas a partir de vidros de alta resistência e são muito aplicadas na indústria aeronáutica.[2]

Propriedade	Vidro E	Vidro S	Vidro R
Densidade (g/cm ³)	2.6	2.49	2.55
Módulo de Young	73.0	85.5	86.0
Tensão de rotura (MPa)	3400	4580	4400

Tabela 2 - Propriedades das fibras de vidro do tipo E,S e R.[2]

3. Técnicas de moldação de compósito

3.1 Moldação manual

A moldação manual (Figura 12) é provavelmente o método mais antigo para a produção de polímeros termoendurecíveis reforçados com fibras. Também é o método mais comum e económico utilizado principalmente na produção de compósitos de fibras de vidro[1]. Este processo é feito em vários passos. Inicialmente é necessária a preparação de um molde onde sobre o qual vão ser dispostas as camadas de fibra a utilizar. O molde terá de ser pincelado com um desmoldante para que a remoção do compósito seja possível, caso contrário este fica agarrado ao molde. Após concluído este passo segue-se a colocação do tipo de fibra a utilizar onde cada camada é impregnada com resina através do auxílio de pincéis e rolos. Para que se garanta que toda a fibra está bem impregnada foi necessário exercer alguma força aquando a colocação da resina caso contrário toda a estrutura do compósito irá estar comprometida. Relativamente ao acabamento superficial a parte do compósito que está em contacto com o molde tem um acabamento consideravelmente melhor do que a que está exposta ao ar, pelo que se for imperativo um bom acabamento é necessário o uso de um contra molde. A utilização de um gel coat também melhora substancialmente o acabamento do compósito. Gel coats são resinas que contêm pigmentos, cargas e agentes tixotrópicos. Têm como principais funções proteger o laminado contra a acção das intempéries, conferir acabamento colorido, liso e brilhante à superfície da peça e servir de base para aplicação de pinturas. Podem ser isoftálicas ou ortoftálicas. Relativamente ao trabalho por mim desempenhado optei por, em vez de utilizar desmoldante, cobrir o molde com um plástico. Isto permitiu ‘descolar’ o protótipo do molde sem correr o risco de ter colocado mal o desmoldante danificando assim o molde.



Figura 12 – Exemplo do processo de moldação manual

3.2 Moldação por compressão

Este processo consiste na compressão de reforços em fibra de vidro sobre os quais se deposita posteriormente a resina líquida. As pressões exercidas são baixas – inferiores a 4 bar – e as temperaturas variam entre os 30°C e os 45°C, o que permite utilizar prensas leves e moldes mais baratos, realizados em compósitos termoendurecíveis de matriz epóxida ou de poliéster. A compressão a frio é adequada à produção de séries médias de peças, cerca de 4 a 12 por hora, com superfícies simples entre 0.01 e 6m² e com acabamentos superficiais pouco cuidados. No caso deste trabalho, irá ser necessário recorrer a este processo quando for utilizado algum tipo de núcleo no compósito pois é necessário que este adquira a forma de um skate. Irão ser utilizados vários tipos de núcleo sendo eles – ninho de abelha, cortiça e perfis pultrudidos.[2]

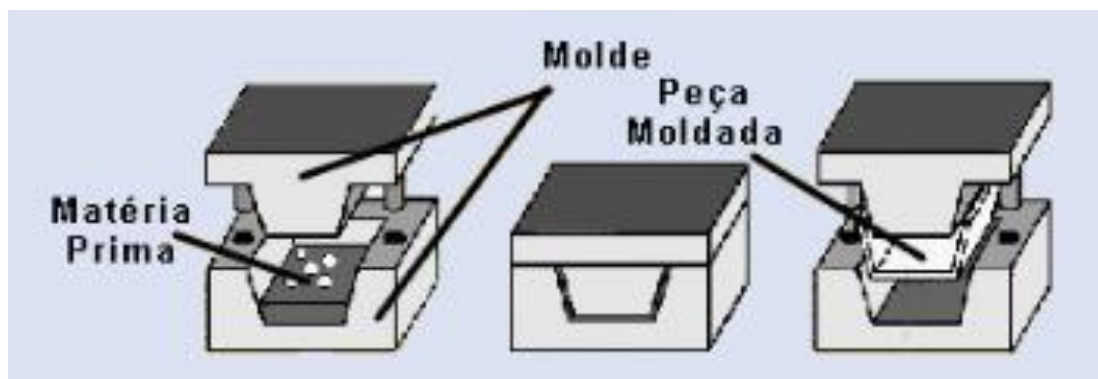


Figura 13 – Moldação por compressão

3.3 Moldação por RTM e RTM-Light (resin transfer moulding)

RTM é o acrónimo de Resin Transfer Moulding, que significa Moldagem por Transferência de Resina. Este processo de fabrico de peças é executado com molde fechado constituído por duas partes, que unidas formam uma cavidade em que se colocam os reforços (fibras, núcleos) antes de se efectuar a injeção da resina (figura 14). Neste processo a resina é injectada por uma máquina a uma determinada pressão, sempre ligeiramente inferior à que mantém os rebordos do molde fechados.

No processo de RTM clássico, os rebordos do molde são fechados com sistemas que resistem a muita pressão, dado que a injeção é efectuada sem assistência de vácuo e a uma grande pressão. Por este motivo, as paredes dos moldes devem ser de grande espessura e geralmente reforçadas com estruturas metálicas muito potentes.[5]

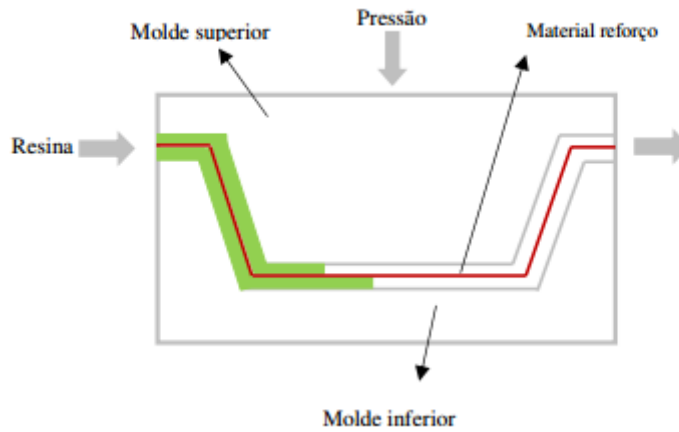


Figura 14 – Moldação por RTM

No caso do RTM-Light (Figura 15), a diferença fundamental está no facto de a injeção de resina ser assistida por vácuo e, deste modo, a pressão necessária para que a resina impregne os reforços não é tão elevada. Isto traduz-se no facto de as paredes dos moldes poderem ser mais finas e os fechos dos rebordos não serem necessariamente tão potentes. No RTM-Light os rebordos mantêm-se geralmente unidos por vácuo. A injeção e a cura podem ter lugar à temperatura ambiente ou a altas temperaturas.

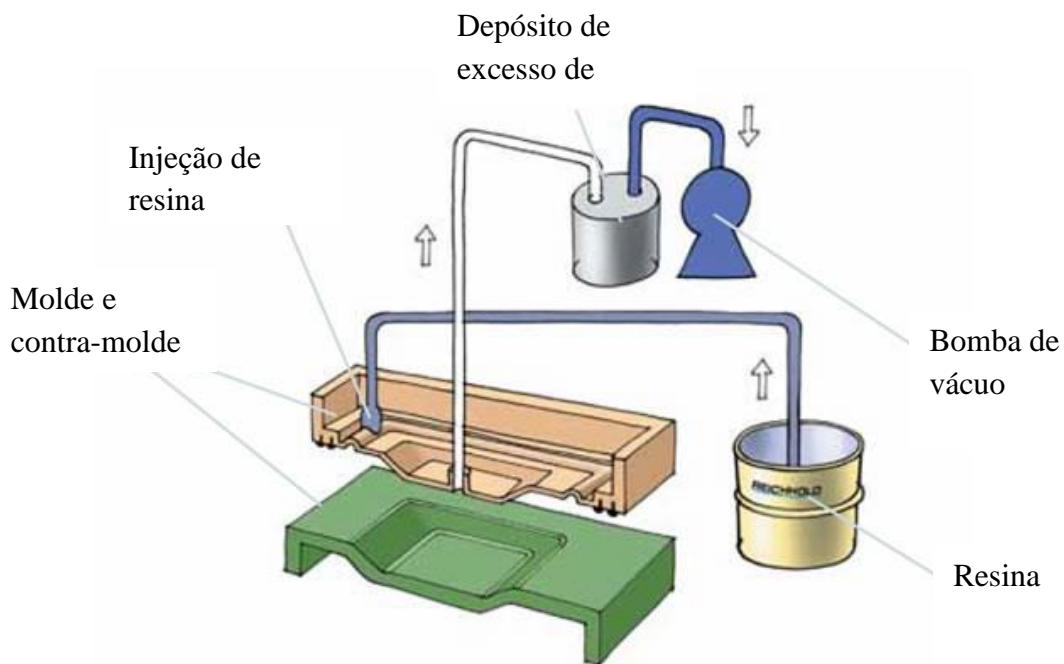


Figura 15 – Moldação por RTM-Light

As vantagens da utilização destes processos são o facto de se poder obter lâminas com um elevado volume em fibras com volumes de ar muito baixos, também boas condições de saúde e segurança, e também ambientais devido ao facto de se trabalhar com molde fechado. Os dois lados da peça têm uma superfície com bom acabamento (gel-coat). Uma das principais desvantagens da utilização destes processos é que podem produzir-se áreas não impregnadas. De salientar que com este processo não se podem utilizar núcleos de ninho de abelha já que as células se enchem de resina e a elevada pressão provoca uma pequena compressão do núcleo.

3.4 Moldação por infusão a vácuo

A moldação por infusão a vácuo (Figura 16) é uma técnica de injeção de resina sob pressão, em molde fechado, para a produção de compósitos, com elevada potencialidade na fabricação de peças com forma simples, em pequena série e com baixos custos de produção. Esta técnica é simples e fácil de executar e consiste nas seguintes etapas de processamento:

- colocação do material de reforço no interior do molde,
- introdução da resina no interior do molde,
- cura da resina,
- abertura do molde e desmoldação da peça.

Enquanto num processo típico de Laminagem Manual os reforços são colocados sobre o molde, a resina é impregnada manualmente com o auxílio de escovas ou rolos e o vácuo é apenas usado no final para remover o excesso de resina, na moldação por infusão a vácuo os materiais são submetidos à pressão de vácuo enquanto ainda estão no estado seco, sendo este a força motora que suga a resina para o interior do molde, por meio de tubos estrategicamente posicionados. No final, qualquer excesso de resina que entra no interior do laminado é conduzido até um recipiente intermédio, colocado entre o laminado e abomba de vácuo, sendo posteriormente retirado após a finalização da infusão. Como resultado, é apenas introduzida uma quantidade mínima de resina, o que origina uma redução de peso do compósito, um aumento da rigidez e uma maximização das propriedades da fibra e da resina. [5]

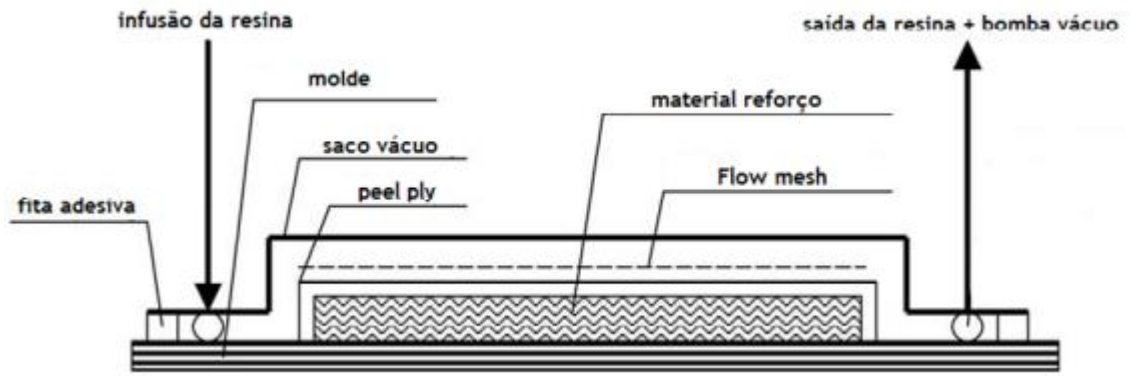


Figura 16 – Moldagem por infusão a vácuo

4. Procedimento experimental

4.1 Estudo preliminar- 1º protótipo

A ideia da construção de uma tábua surgiu graças à minha paixão pelo skate. À quinze anos que faz parte da minha vida, e passados todos estes anos cheios de diversão, amizades novas, viagens, corpo esmurrado e tábuas partidas decidi tentar mudar algo que todos os skaters gostavam que fosse possível: Não ver um dia, uma viagem ou uma carteira estragada pelo facto da a tábua ter partido antes do previsto.

Com isto em vista, abordei o Professor João Francisco tendo já em mente a utilização de materiais compósitos para a construção de uma tábua. Após uma primeira conversa e uma breve explicação das potencialidades do uso de material compósito e as suas aplicações, ficou delineado que o caminho a seguir iria passar pela utilização de fibra de vidro.

O próximo passo prendeu-se com a pesquisa da existência ou não de tábuas feitas no mesmo material no mercado. Pela minha experiência no meio do skate já tinha alguma noção do que o mercado oferecia e pelo menos em Portugal nenhuma skateshop vendia tábuas em fibra de vidro. Navegando a internet encontrei tábuas feitas em fibra de carbono (Figura 17) ou híbridas (fibra de carbono e madeira) mas maioritariamente aplicadas a outro tipo de skate, os longboards (Figura 18).



Figura 17 – Tábua de skate em fibra de carbono



Figura 18 – Longboard em madeira e fibra de carbono

Algumas marcas de topo entraram neste mercado das tábuas híbridas, mas rapidamente se afastaram. Estas tábuas são compostas por 6 folhas de madeira onde a folha do meio tem um recorte no seu centro onde é colocada fibra de kevlar (Figura 19).

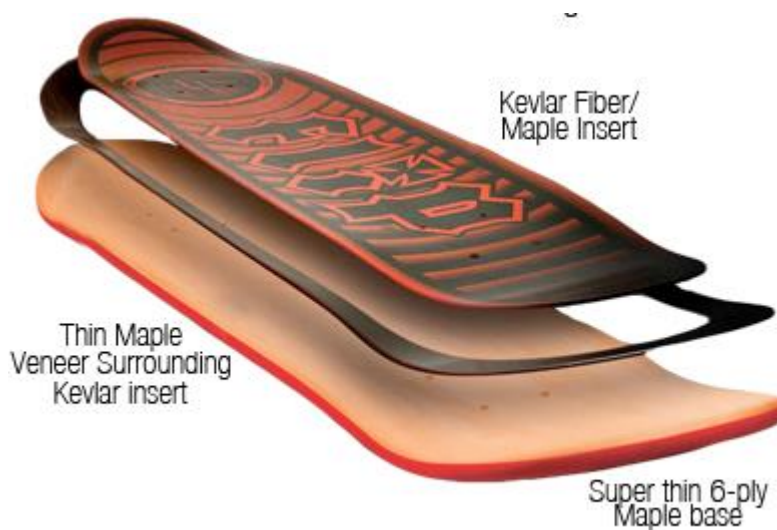


Figura 19 – Tábua de madeira reforçada com fibra de kevlar

Terminada esta etapa de pesquisa avancei para a construção do primeiro protótipo. Para tal, comecei por fazer um molde de uma tábua skate. Inicialmente pensei em utilizar uma tabua com uma medida de 31,875 polegadas de comprimento e 8 polegadas de largura para o efeito, mas como me foi explicado pelo professor João, seria melhor construir um molde com um comprimento e largura um pouco superiores pois assim teria margem para garantir

que o protótipo iria ter as dimensões pretendidas. Como tal, para a construção do molde foram precisos os seguintes materiais:

- Caixa de cartão
- Espuma de poliuretano
- Gesso
- Tábua de skate

O primeiro passo foi a construção de uma caixa de cartão onde a tabua de skate coubesse com alguma folga. De seguida encheu-se a caixa com espuma de poliuretano e colocou-se a tábua em cima da mesma. Depois de seca a espuma, retiraram-se os excessos e procedeu-se à aplicação do gesso. Este passo foi o mais moroso mas também o mais importante. O gesso permitiu prolongar a superfície da tábua mantendo praticamente a curvatura da mesma. O resultado final está apresentado nas figuras 20 e 21.



Figura 20 – Molde inicial



Figura 21 – Molde inicial

Feito o molde começou então a produção do primeiro protótipo. Para tal, cortaram-se várias folhas de manta de fibra de vidro com uma gramagem de 225g/m^2 e colocaram-se em cima do molde para de seguida ser aplicada a resina de poliéster. Neste primeiro protótipo apliquei cerca de 35 folhas o que conferiu à tabua todas as propriedades desejadas excepto o peso. O peso de uma tábuia de madeira com as mesmas dimensões é de aproximadamente 1100g e o peso deste primeiro protótipo foi de 1970g.



Figura 22 – Primeiro protótipo



Figura 23 – Primeiro protótipo

Para fazer com que o peso do protótipo diminuísse foi estudada uma outra solução que passou por fazer uma sandwiche de fibra de vidro. A utilização de um material de núcleo permite baixar o peso da tábua mantendo as propriedades mecânicas essenciais ao bom funcionamento da mesma. Para ser possível o fabrico de um protótipo com estas características foi necessária a construção de uma prensa e de 2 moldes (superior e inferior) de uma tábua de skate.

4.2 Construção da Prensa

Optei por construir em vez de comprar uma prensa visto que para esta ter as dimensões adequadas para suportar os moldes o preço, mesmo que em segunda mão, estava bem além das minhas possibilidades. Para a construção da prensa guiei-me pelo site <http://www.diyskate.com/>, e o trabalho foi todo realizado na oficina de materiais compósitos do ISEP. Foi necessário comprar duas vigas metálicas e dividi-las em seis partes. As duas vigas colocadas na vertical têm um comprimento de 1000 mm e as quatro vigas que constituem a base e o topo 900 mm. Foram utilizadas estas dimensões tendo em conta as dimensões dos moldes e do macaco hidráulico. O comprimento da base e do topo da prensa foi determinado pelo comprimento dos moldes, caso contrário corria o risco de não ter espaço suficiente para os inserir na prensa. O mesmo se verificou com o macaco hidráulico, pois se não houvesse altura suficiente era impossível inseri-lo na prensa tornando todo este trabalho inútil.



Figura 24 - Prensa



Figura 25 – Prensa

O macaco hidráulico escolhido (Figura 26) foi um Weber Hidraulic com uma força máxima de 25ton. Nunca iria precisar de uma força tão grande para prensar uma tábua de skate, mas deste modo estava garantido que nenhuma tábua iria ficar mal prensada. O aspecto final da construção está apresentado na Figura 27.



Figura 26 – Macaco hidráulico



Figura 27 – Aspecto final da prensa

4.3 Construção dos Moldes

Pesquisando na internet por moldes já existentes, mais uma vez, o preço pedido era muito elevado, variando entre 400\$ e 600\$. Como exemplo, em http://snowboardmaterials.com/pages/skateboard_kits.htm o preço de um molde é de 480\$ e em <http://store.puredist.com/p/skateboard-mold?pp=20> 400\$. Visto que a minha solução não poderia passar por uma compra online decidi procurar carpintarias que fizessem moldes, mas após visitar três o melhor preço que consegui negociar foi de 800€, tornando esta opção inviável também.

Estando eu a ficar sem opções relativamente a onde fazer o molde decidi fazer-lo eu mesmo, em cimento, recorrendo às indicações dadas no site http://www.diyskate.com/concrete_mold_02.html. Comprei uma tábua ainda no seu estado virgem (Figura 28), vulgo, por cortar, e fiz uma caixa para posteriormente ser enchida com cimento. Este ultimo passo acabou por nao ser concluído visto que após alguma pesquisa relativamente a moldes feitos neste material verifiquei que era difícil produzir um que fosse duradouro e que o aparecimento de fendas e outros danos num curto espaço de tempo

era inevitável. Também o peso do molde iria ser muito elevado o que tornaria o manuseamento da prensa e conseqüente produção de protótipos mais difícil.



Figura 28 – Tábua virgem

Em conversa com o meu pai relativamente a este assunto, surgiu a idéia de contactar um conhecido dele que é escultor, o Sr. Júlio Leal. Após uma visita à sua oficina ficou claro que a minha solução iria passar por fazer lá o meu molde visto que o Sr. Júlio tinha um pantógrafo. Um pantógrafo é uma ferramenta que permite copiar a forma exacta de um objecto para, neste caso, um toro de madeira. Visto eu ter uma tábua virgem (Figura 28), que serviu de base para fazer os moldes, foi necessário comprar um toro de madeira que tivesse as medidas e a dureza necessária para concluir o processo. Encontrar um toro que satisfizesse as minhas necessidades não foi uma tarefa fácil visto que, apesar de as madeiras processarem grandes quantidades de madeira ainda no seu estado virgem, os desperdícios daí decorrentes não são assim tantos e quando existem estão normalmente em mau estado. Apesar de tudo isto após visitar diversas madeiras finalmente consegui encontrar um toro que me possibilitava a construção dos moldes. Entregando todo o material necessário ao escultor o resultado final foi o demonstrado nas Figuras 29 e 30. Apenas precisei de tapar algumas fendas existentes na madeira e enverniza-la de maneira a prolongar o tempo de vida dos moldes.



Figura 29 – Molde inferior



Figura 30 – Molde superior

Concluído o processo de construção da estrutura e dos moldes a utilizar, o aspecto final da prensa foi o seguinte:



Figura 31 – Aspecto final do conjunto prensa e moldes

5. Apresentação e discussão de resultados

5.1 Introdução

Na construção dos protótipos as principais características a ter em atenção são:

- Rigidez à Flexão - não pode existir quase flexão pois isso atrasa a resposta do protótipo quando é solicitado algum esforço por parte do skater.
- Peso: o peso de uma tábua com 8 polegadas de largura e 31,875 de comprimento não deverá exceder as 1100g.
- Som: tem que fazer o som característico de uma tábua convencional de skate quando em contacto com o solo. Este som denomina-se de *pop*.

5.2 Protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliéster e núcleo tipo ninho de abelha

Tendo a prensa e os moldes prontos a utilizar, comecei com a construção de protótipos compostos com sandwiche de fibra de vidro. O primeiro material escolhido a ser utilizado para compor o núcleo da tábua foi ninho de abelha em plástico (Figura 32).

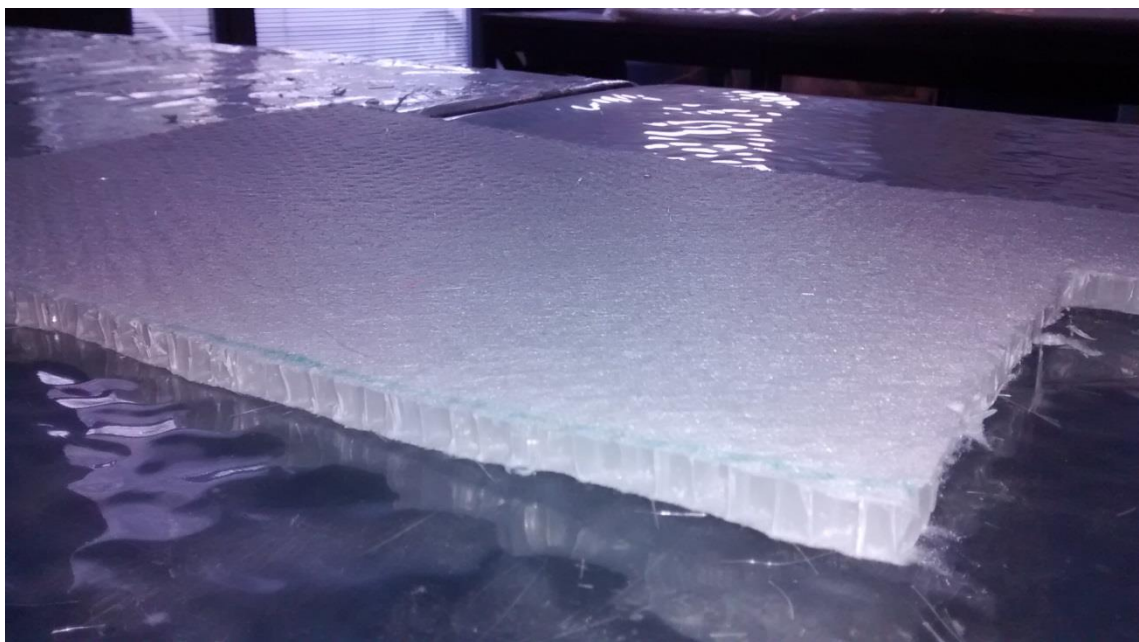


Figura 32 – Núcleo tipo ninho de abelha

5.2.1 Protótipo nº1

No primeiro protótipo deste tipo utilizei um núcleo com uma espessura de 20mm pois era o que havia disponível na oficina e 20 camadas de fibra de vidro com uma gramagem de 225g/m². Primeiro apliquei resina em 10 camadas de fibra, de seguida introduzi o núcleo e posteriormente adicionei as restantes 10 camadas de fibra . Apesar de saber que a espessura do núcleo era muito elevada, visto que uma tábua tem aproximadamente 9 mm de espessura, avancei na mesma com a construção do protótipo pois precisava de perceber qual era o comportamento após a introdução do mesmo.



Figura 33 – Protótipo nº1



Figura 34 – Protótipo nº1

Resultados:

- -Rigidez: o protótipo não sofre praticamente nenhuma deformação quando é utilizado.

- -Peso: 1400g. Um pouco acima dos 1100g pretendidos, é perceptível este excesso de peso quando se utiliza o protótipo.
- -Som: Um som abafado, muito parecido com o de uma tábua de madeira quando já está mole.

5.2.2 Protótipo nº2

Após alguma procura consegui encontrar uma empresa, Poliexport, que vendia o material de núcleo que eu pretendia com uma espessura de 10mm. Neste segundo protótipo organizei a fibra e o núcleo da seguinte forma: 15 camadas de fibra na parte inferior, núcleo, 5 camadas de fibra na parte superior. A intenção de utilizar mais fibra de vidro na parte inferior do protótipo foi numa tentativa de combater o som abafado verificado no protótipo nº1. Relativamente ao peso, ao diminuir a espessura do núcleo para metade consegui imediatamente eliminar 130g excedentes.



Figura 35 – Protótipo nº2

Resultados:

- Rigidez: Devido à diminuição da espessura do núcleo, a estrutura do protótipo ficou mais fragilizada pelo que quando a este foi sujeito a um grande esforço não foi possível evitar a fractura.
- Peso:1250g. Apesar de ainda estar acima do valor ideal, não é notório o excesso de peso sendo que é possível utilizar o protótipo sem este factor condicionar a prática do desporto.
- Som: Mesmo tendo organizado as camadas de fibra de uma maneira a tentar melhorar o som, relativamente ao protótipo nº1 não houve uma alteração significativa nesta característica.

5.3 Protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliéster

Visto que em todos os protótipos feitos com material de núcleo havia sempre alguma característica seja ela a rigidez, o peso ou o som, que apresentava problemas decidi voltar a tentar fazer um protótipo apenas composto por fibra de vidro. Pela experiência de ter elaborado já um, sabia que a solução não poderia passar apenas por aplicar folhas de fibra de vidro com a forma convencional de um skate. Como tal, os protótipos seguintes foram todos construídos utilizando configurações diferentes relativamente às folhas de fibra de vidro. Uma das configurações é tal e qual a forma de um skate convencional de forma a garantir que o produto final tem a forma exacta de um skate, as outras vão variando na forma mas sempre tendo em vista a redução do peso sem comprometer a rigidez e o som do protótipo.

5.3.1 Protótipo nº3

Neste terceiro protótipo optei por utilizar 18 folhas de fibra com uma forma exactamente igual à de um skate e posteriormente apliquei outras 5 tiras rectangulares com 70mm de largura e 210mm de comprimento. A intenção por detrás da aplicação destas tiras

rectangulares foi para melhorar a resistência do protótipo à flexão adicionando o mínimo peso possível ao mesmo.



Figura 36 – Protótipo nº3



Figura 37 – Protótipo nº3

Resultados:

- Rigidez: O protótipo flecte demasiado.
- Peso: 1540g. 440g acima do pretendido. Mesmo sendo impossível de utilizar o protótipo devido à flexão excessiva, este valor é muito acima do valor pretendido pelo que ia condicionar gravemente o uso do mesmo.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

5.3.2 Protótipo nº4

Para o segundo protótipo decidi utilizar menos camadas de fibra de vidro com a forma de um skate e passei a utilizar mais tiras de fibra. Deste modo tentei reduzir o peso do protótipo ainda sem saber qual seria o impacto na resistência à flexão. No total utilizei 26 tiras de fibra com 70mm de largura e 6 folhas de fibra.



Figura 38 – Protótipo nº4



Figura 39 – Protótipo nº4

Resultados:

- Rigidez: O nose da tábua não apresenta flexão enquanto que o tail flecte um pouco. Isto poderá dever-se ao facto de não ter impregnado bem a fibra neste local. Existe flexão à largura.
- Peso: 1350g, 250g acima do desejado.
- Som: Idêntico a uma tábua de madeira.

5.3.3 Protótipo nº5

Neste protótipo em vez de utilizar manta de fibra de vidro experimentei antes tecido de fibra de vidro. Vou manter o mesmo processo do Protótipo nº4, ou seja, vou utilizar 22 tiras e 8 folhas de manta de fibra de vidro.



Figura 40 – Protótipo nº5



Figura 41 – Protótipo nº5

Resultados:

- Rigidez: O protótipo flexiona por completo e quando sujeito a um grande esforço parte.
- Peso: 1280g, 180g acima do desejado.
- Som: Abafado.

5.3.4 Protótipo nº6

Para este sexto protótipo voltei a utilizar manta de fibra de vidro. Depois de estudar os resultados do Protótipo nº4 e sabendo que existe flexão à largura quando se usa 6 folhas de fibra de vidro decidi utilizar uma nova configuração para a malha de fibra de vidro como demonstrada nas Figuras 42 e 43. Deste modo espero conseguir minimizar a flexão à largura aquando a utilização de menos de 6 folhas de fibra de vidro e ao mesmo tempo aumentar a espessura do protótipo no seu perímetro tornando-o menos perigoso para os seus utilizadores. Utilizei 5 folhas de fibra e outras 25 com a configuração descrita anteriormente.



Figura 42 - Protótipo nº6



Figura 43 - Protótipo nº6

Resultados:

- Rigidez: Bastante flexão no sentido longitudinal da tábua. Flexão à largura praticamente inexistente.
- Peso: 1300g, 200g acima do valor desejado.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

5.4 Protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliéster e diversos materiais de núcleo

5.4.1 Protótipo nº7

Neste protótipo utilizei um já anteriormente construído, o protótipo nº4. Apesar de já saber em antemão que este iria ter um peso bem acima do que era desejado, avancei na mesma pois precisava de saber se as alterações que iria introduzir melhoravam o som da tábua. Como tal as alterações que fiz foram as seguintes: acrescentei a toda a volta um rebordo composto por plástico com o formato de ninho de abelha para aumentar a espessura do protótipo e ‘tampei-o’ com 3 camadas de fibra.



Figura 44 – Protótipo n°7



Figura 45 – Protótipo n°7

Resultados:

- Rigidez: Para este protótipo este parâmetro é desprezável.
- Peso: Para este protótipo este parâmetro é desprezável.
- Som: Apesar das alterações feitas o som continua abafado.

5.4.2 Protótipo n°8

Neste 8º protótipo, e continuando a utilizar como base o protótipo nº4, as alterações feitas foram as seguintes: ao longo do nose e do tail, como visto nas Figuras 46 e 47, adicionei fibra de modo a aumentar a espessura nestes locais e também tentar com que o som da tábua passasse a assemelhar-se com o de uma tábua de madeira convencional. Ao longo de

todo o comprimento do protótipo adicionei duas tiras de cortiça para aumentar também a espessura mas adicionando o mínimo peso possível.

Resultados:

- Rigidez: Bastante flexão tanto ao comprimento como à largura.
- Peso: 1200g, 100g acima do valor desejado, mas não impossibilita a sua utilização.
- Som: Abafado.



Figura 46 – Protótipo nº8



Figura 47 – Protótipo nº8

5.4.3 Protótipo nº9

Para este protótipo, e após sugestão do Professor João Francisco, utilizei uma configuração semelhante à do protótipo nº6 onde apenas a largura da tira central foi reduzida para 40mm e acrescentada espuma de poliuretano para combater a flexão. A construção do protótipo foi feita da seguinte forma – 3 folhas de fibra na parte superior, 25 folhas com a configuração vista nas Figuras 48 e 49, enchimento das cavidades criadas pela utilização

dessa mesma configuração com espuma de poliuretano e 2 folhas de fibra na parte inferior para ‘tampar’ o protótipo.



Figura 48 – Protótipo nº9



Figura 49 – Protótipo nº9

Resultados:

- Rigidez: Não apresenta flexão tanto à largura como ao comprimento.
- Peso: 1450g, 350g acima do valor desejado. Apesar de ser possível a sua utilização, é bastante mais exigente para o utilizador a prática do skate com este protótipo.
- Som: Abafado.

5.5 Continuação da construção de protótipos em compósito de fibra de vidro e resina de poliéster

5.5.1 Protótipo nº10

Neste protótipo desenvolvi uma configuração diferente para a a fibra de vidro como visto na Figura 50.



Figura 50 – Esqueleto para o protótipo nº10

Ao longo do comprimento tem uma tira longitudinal que irá diminuir a flexão da tábua nesta direção e 5 tiras na transversal para diminuir a flexão à largura. Tem também uma tira de fibra a toda a volta para aumentar a espessura do protótipo. Numa fase inicial utilizei 3 folhas de fibra com o formato de uma tábua normal de skate e 20 folhas de fibra com a configuração acima descrita. Neste protótipo optei por não acrescentar folhas de fibra de vidro na parte inferior com vista a ‘tampa-lo’ pois tinha algumas dúvidas relativamente ao sucesso desta nova configuração.

Resultados:

- Rigidez: Alguma flexão em todo o comprimento da tábua. Comportamento ideal relativamente à flexão à largura.
- Peso: 1000g. 100g abaixo do peso. Possível de acrescentar mais fibra para melhorar as suas propriedades mecânicas.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

Visto ainda ser possível aumentar a quantidade de fibra no protótipo graças ao peso estar abaixo dos valores normais, e a flexão à largura ser praticamente nula aquando a sua utilização, decidi acrescentar 10 tiras de fibra no sentido longitudinal da tábua para anular a flexão nesta direção e tampar o protótipo com 2 folhas de fibra.



Figura 51 – Protótipo nº10



Figura 52 – Protótipo nº10

Resultados:

- Rigidez: Flexão imperceptível aquando a utilização do protótipo. Quando sujeito a um grande esforço, este parte.
- Peso: 1430g. 330g acima do valor ideal. Ainda que não impossibilite a utilização do protótipo, é perceptível este excesso de peso.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

Comentário:

A fractura deste protótipo deveu-se a uma falha na configuração da fibra verificada na Figura 51 e também ao método de construção do mesmo. Visto que um dos locais onde um skate está sujeito a um maior esforço mecânico é imediatamente a seguir aos trucks, houve um erro da minha parte ao concentrar todos estes esforços num volume de fibra tão pequeno como visto na Figura 53.



Figura 53 – Pormenor da fratura no protótipo nº10

Relativamente ao método de construção, pelo facto de ter permitido que o protótipo curasse por completo, ao ter adicionado posteriormente 10 tiras e 2 folhas de fibra estas não agarraram bem às colocadas anteriormente pelo que descolaram e fragilizaram toda a estrutura. O resultado desta má construção pode ser visto na Figura 54.

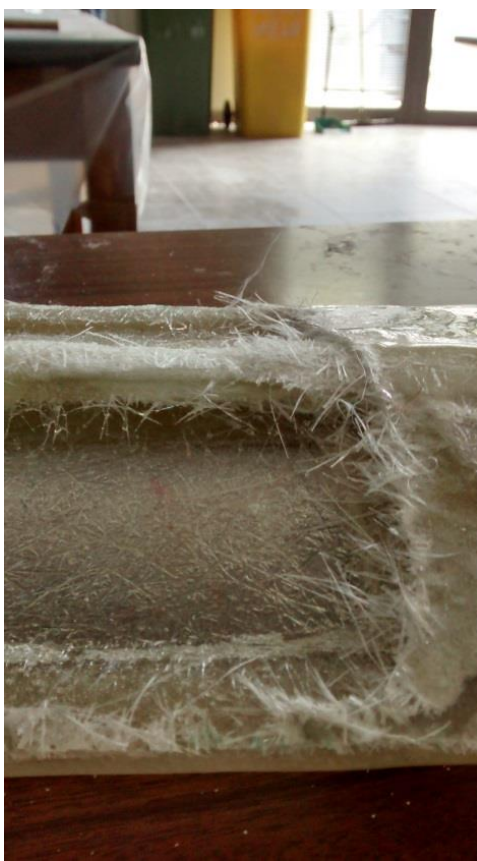


Figura 54 – Pormenor da má construção do protótipo nº10

5.5.2 Protótipo nº11

Neste protótipo corriji o erro cometido no desenho do protótipo anterior. Desta feita coloquei no desenho 2 tiras verticais de fibras imediatamente antes e a seguir ao local onde o truck vai ser aparafusado para que o protótipo consiga aguentar os esforços a que vai ser sujeito sem que este se parta. As quantidades utilizadas foram 6 camadas de fibra com a forma de um skate convencional e 20 com o formato visto na Figura 55.



Figura 55 – Protótipo nº11

Resultados:

- Rigidez: A flexão no tail é praticamente inexistente enquanto que no nose, apesar de mínima, esta é perceptível. Quando sujeito a um grande esforço, o protótipo quebra no meio.
- Peso: 1242g. 142g acima do peso ideal, impercetível ao utilizador.
- Som: igual a uma tábua de madeira.

5.5.3 Protótipo nº12

Utilizei a mesma configuração para o esqueleto do protótipo apenas utilizando mais tiras de fibra, 4, a todo o comprimento para combater a fractura verificada no centro do protótipo nº11.



Figura 56 – Protótipo nº12

Resultados:

- Rigidez: A flexão no tail manteve-se praticamente inexistente havendo uma melhoria no nose, passando este a flectir também muito pouco. Relativamente ao centro do protótipo este voltou a quebrar.
- Peso: 1261g. 161g acima do peso ideal, impercetível ao utilizador
- Som: igual a uma tábua de madeira

5.5.4 Protótipo nº13

Este protótipo sofreu uma pequena alteração na sua construção relativamente ao construído anteriormente como pode ser visto na Figura 57. Acrescentei ao seu desenho duas tiras verticais numa tentativa de reduzir a flexão no centro. Utilizei 6 camadas de fibra de vidro

com o formato de uma tábua convencional de skate, 20 camadas com o formato anteriormente descrito e 4 tiras de fibra colocadas na horizontal a todo o comprimento do protótipo.



Figura 57 – Protótipo nº13

Resultados:

- Rigidez: Relativamente à largura ao tail e ao nose, a flexão é praticamente inexistente. Houve uma melhoria na flexão no centro da tábua em relação ao protótipo nº12, mas ainda assim ela existe o condiciona a utilização do protótipo.
- Peso: 1440g. 340g acima do peso ideal, estando no limiar de ser possível a sua utilização.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

5.5.5 Protótipo nº14

Neste protótipo alterei o desenho do ‘esqueleto’ com a intenção de melhorar a resistência no centro, como pode ser visto na Figura 58. De salientar que a partir deste protótipo a quantidade de camadas de fibra a utilizar sofreram uma alteração visto o rolo de fibra ter acabado e o novo ter uma gramagem diferente do utilizado anteriormente. Como tal,

utilizei 6 camadas com o formato visto na Figura 58, 10 tiras longitudinais e 2 camadas com o formato convencional de uma tabua de skate por forma a ‘tampar’ o protótipo.



Figura 58 – Protótipo nº14

Resultados:

- Rigidez: Flexão à largura inexistente, flexão acentuada no centro do protótipo. Nose e tail apesar de flectirem pouco necessitam de algum melhoramento.
- Peso: 1390g. 290g acima do peso ideal. Ainda é possível a sua utilização.
- Som: Igual a uma tabua de madeira

5.5.6 Protótipo nº15

A única alteração feita foi o acréscimo de 3 tiras longitudinais relativamente ao protótipo nº14.



Figura 59 – Protótipo nº15

Resultados:

- Rigidez: Flexão à largura inexistente, diminuição da flexão no centro que ainda assim é bastante elevada. Flexão no nose e no tail estão dentro do espectável.
- Peso: 1450g. 350g acima do peso ideal. Ainda é possível a sua utilização.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

5.5.7 Protótipo nº16.

Neste protótipo mantive a configuração utilizada nos dois protótipos anteriores mas alterei o número de camadas a utilizar. Neste caso utilizei 8 camadas com o formato visto na Figura 60 , 12 tiras e 2 camadas com o formato convencional duma tábua de skate. Visto o peso dos protótipos anteriores estar um pouco acima do desejável , já sabia à partida que

este protótipo ia agravar esse factor visto utilizar mais fibra de vidro mas ainda assim avancei.



Figura 60 – Protótipo nº16

Resultados:

- Rigidez: Não existe praticamente flexão tanto no tail como no nose e a verificada no centro do protótipo é consideravelmente menor em comparação com os realizados anteriormente, querendo com isto dizer que tem um comportamento muito semelhante a uma tábua de madeira.
- Peso: 1737g. 637g acima do peso ideal. É um valor muito elevado pelo que impossibilita a sua utilização.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

5.5.8 Protótipo nº17

Para a construção deste protótipo introduzi um material novo para além da fibra de vidro. O material escolhido foi um compósito de fibra de vidro e polipropileno. Visto este material ter as fibras alinhadas apenas numa direcção, a resistência à flexão é maior do que se utilizasse malha de fibra de vidro onde as fibras estão dispostas duma maneira desorganizada. Como tal terei de utilizar menos tiras de fibra como foi feito nos protótipos

anteriores conseguindo assim diminuir o peso e aumentar a resistência à flexão. Neste protótipo utilizei 6 camadas de fibra com a configuração igual à dos protótipos nº14, nº15 e nº16, 4 tiras fibra de vidro e polipropileno e 2 camadas com o formato de uma tábua de skate.



Figura 61 – Protótipo nº17

Resultados:

- Rigidez: a utilização deste novo material provou ser ineficaz pelo que o protótipo flecte por inteiro.
- Peso: 1212g. 112g acima do peso ideal, não afecta a sua utilização.
- Som: Abafado.

5.6 Protótipos em compósito de fibra de vidro, resina de poliéster e perfis pultrudidos como material de núcleo

Visto não estar a obter os resultados esperados procurei ajuda novamente junto do Professor João Francisco, tendo-me sido aconselhado a utilizar perfis pultrudidos de fibra de vidro. Estes perfis são materiais compósitos constituídos por dois materiais: as fibras de reforço, que são responsáveis pelo desempenho mecânico do material, garantindo a maior parte da resistência e da rigidez; e a matriz polimérica, que funciona como a “cola” do compósito, garantindo a transferência de cargas entre as fibras e entre o compósito e as cargas aplicadas, e que protege as fibras dos agentes de degradação ambientais. Em geral, a matriz polimérica resulta da mistura de uma resina com material de enchimento (filler) e aditivos [5].

5.6.1 Protótipo nº18

Posto isto, para este novo protótipo alterei a configuração do ‘esqueleto’ (Figura 63) apenas mantendo a mesma quantidade de camadas,6. Em vez de adicionar tiras de fibra para tornar a tábua mais resistente à flexão no centro vou utilizar um perfil pultrudido com o comprimento de 505mm, espessura de 4mm , altura de 9mm e 50mm de largura (Figura 62). Com este comprimento garanto que o perfil abranje os locais onde o protótipo vais estar sujeito a um maior esforço mecânico, sendo estes no meio e imediatamente a seguir dos trucks. Para tampar o protótipo utilizei duas camadas de fibra de vidro com o formato de uma tábua de skate comum.

Perfil em U		
axbxe(mm)	Área(cm ²)	Peso(g/m)
40x50x5	6.43	1160
50x30x4	4.01	716
60x55x5	7.88	1402
150x40x6	12.82	1919
200x60x8		

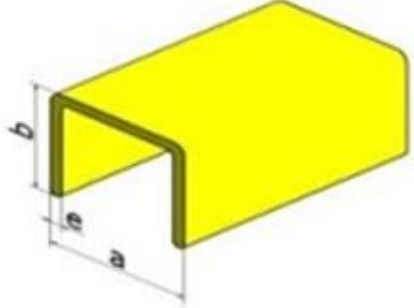


Figura 62 – Perfil Pultrudido em ‘U’

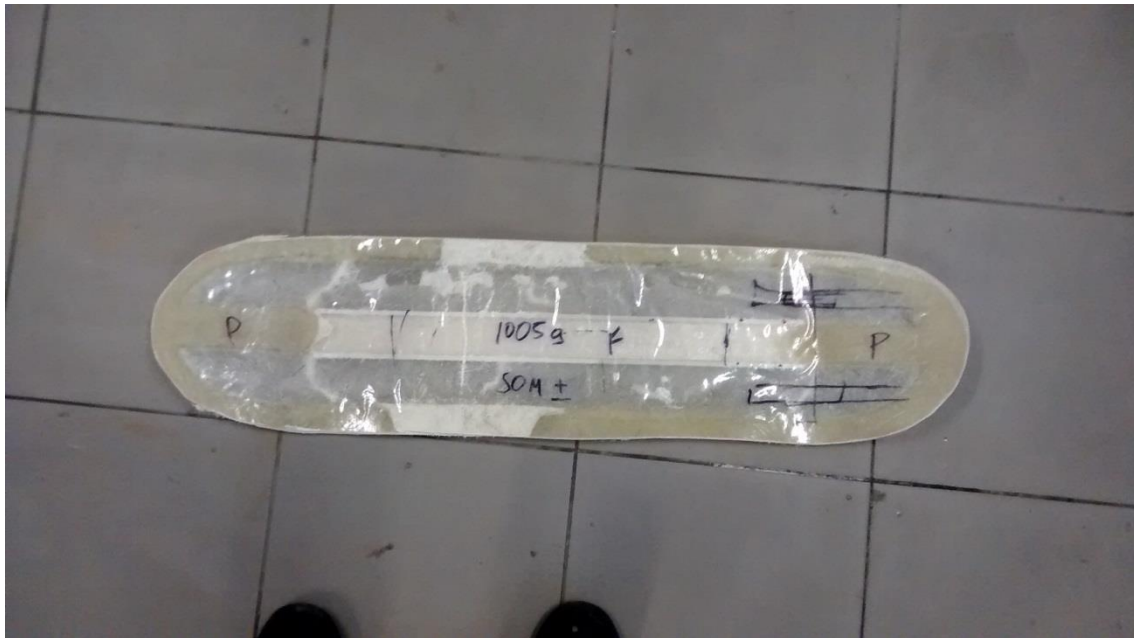


Figura 63 – Protótipo nº18

Resultados:

- **Rididez:** O nose e o tail flectiram até ao ponto de rotura. Isto deveu-se ao facto do desenho do ‘esqueleto’ não ser adequado. Para que as extremidades do protótipo mantenham a rigidez necessária é fundamental que a fibra esteja ‘colada’ ao perfil, o que não aconteceu. A flexão no centro do protótipo inicialmente não era muito acentuada, mas depois de sujeito a algum esforço, o perfil descolou da fibra de vidro acabando por quebrar. A flexão à largura era bastante notória pelo que tornava o protótipo inutilizável.

- Peso:1005g. 100g abaixo do peso ideal. Não convém que a tábua fique demasiado leve pois quando esta roda ao ser executada uma manobra o vento influencia o seu movimento.
- Som: Um pouco abafado, provavelmente devido à falta de peso do protótipo.

5.6.2 Protótipo nº 19

Neste protótipo optei por experimentar duas configurações diferentes tanto para o tail como para o nose de modo a otimizar tempo e material sabendo desta maneira se alguma delas iria tornar a tábua mais resistente nas extremidades (Figura 64). Visto os perfis pultrudidos não serem capazes de se conformar à forma da tábua é impossível utilizar um só perfil a todo o comprimento da mesma. Para tentar contornar a situação e conseguir que o perfil adopta-se as curvas do molde foi necessária a utilização de um perfil de dimensões diferentes a partir do qual, após algum trabalho com a rebarbadeira, foi possível conferir-lhe o formato necessário. Para o caso do nose utilizei 2 perfis de 100mm de comprimento, 4mm de espessura e 20mm de altura à qual foram feitos os ajustes necessários para que o perfil ficasse com a forma do molde. Para o tail tudo se manteve igual exceto o comprimento que passou para o dobro, 200mm . Para o centro da tábua utilizei de novo um perfil igual ao do protótipo nº18 com 505mm de comprimento, 9mm de altura e 4mm de espessura. Apenas lhe fiz dois rasgos, um à esquerda e outro à direita do centro, para que a fibra que compõe o ‘esqueleto’ do protótipo não ficasse trilhada e pudesse melhorar a flexão à largura verificada no protótipo anterior. Para o esqueleto foram utilizadas 4 camadas com a configuração verificada na Figura 64, e 3 camadas adicionais que apenas serviram para aumentar a espessura do protótipo a todo o seu perímetro. Para tampar o protótipo utilizei 2 camadas de fibra com a configuração normal de uma tábua de skate.

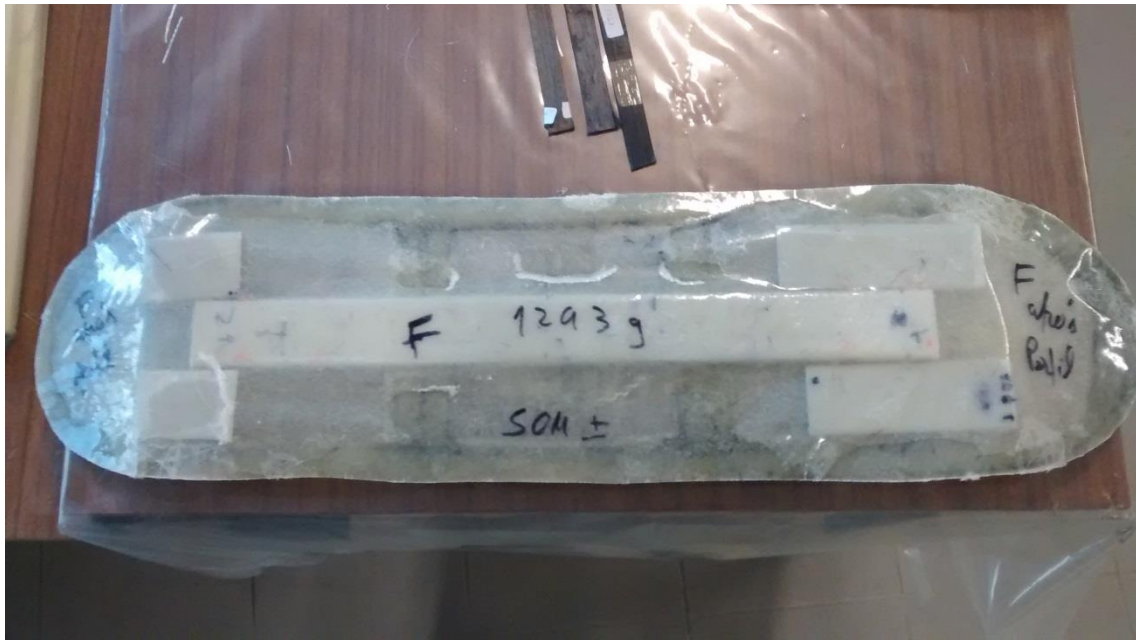


Figura 64 – Protótipo nº19

Resultados:

- Rigidez: O protótipo voltou a quebrar imediatamente a seguir ao perfil central da tábua. Os perfis utilizados para o tail e para o nose não obtiveram o resultado esperado, sendo este pior no caso do nose onde o comprimento do perfil era menor. Imediatamente a seguir aos perfis, tanto no tail como no nose, a tábua flexe bastante. Também existe flexão à largura.
- Peso: 1300g, 200g acima do peso normal de uma tábua de skate. Não influencia a utilização do protótipo.
- Som: igual a uma tábua de madeira.

5.6.3 Protótipo nº20

Para este protótipo (Figura 65) desisti da ideia de utilizar perfis para melhorar a resistência à flexão da tábua tanto no nose como no tail e reutilizei o desenho do esqueleto previamente utilizado nos protótipos nº14 ao nº17 para diminuir a flexão à largura. Para eliminar a flexão em todo o comprimento do protótipo utilizei tiras de fibra de vidro para o efeito. Deste modo a tábua é composta por 4 camadas com o esqueleto anteriormente mencionado, 2 camadas que apenas aumentam a espessura do protótipo sem aumentar

muito o peso do mesmo, 1 perfil pultrudido com 515mm, 7 tiras de fibra de vidro a todo o comprimento do protótipo e 2 camadas de fibra com o formato de um skate normal para o ‘tampar’.

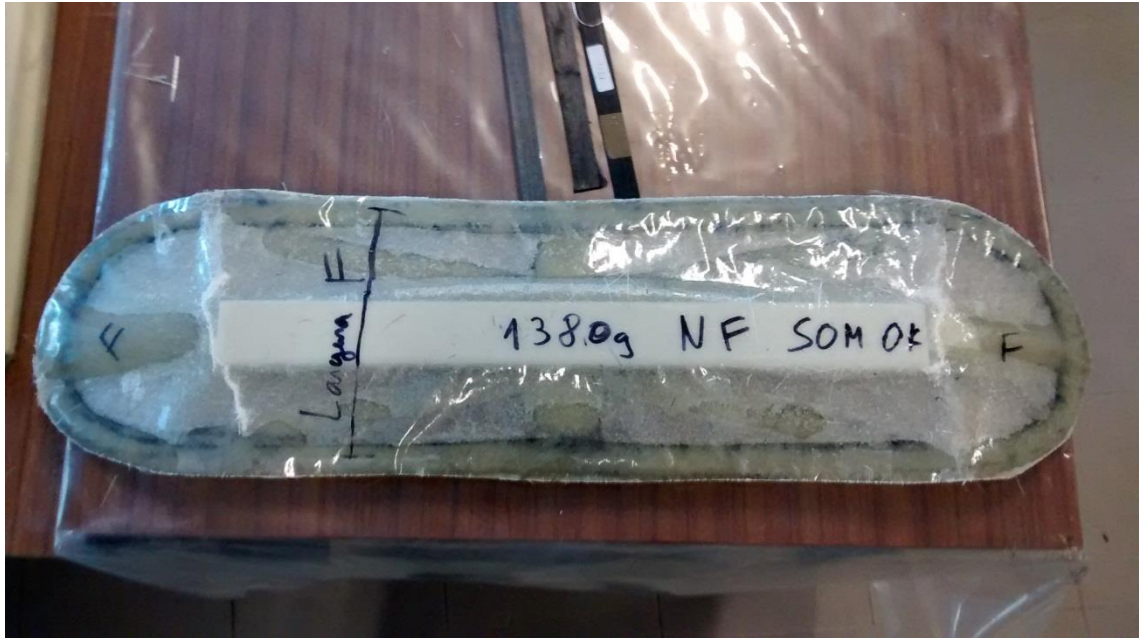


Figura 65 – Protótipo nº20

Resultados:

- Rigidez: Flexão no centro do protótipo é praticamente desprezável, enquanto que o nose e o tail flectem bastante. O mesmo se verifica relativamente à largura, onde a tábua também flecte consideravelmente.
- Peso: 1380g. 280g acima do peso de um skate normal, não influencia a utilização do protótipo
- Som: Igual a uma tábua de skate.

5.6.4 Protótipo nº21

Para tentar combater a flexão no centro e a flexão à largura do protótipo optei por adicionar mais um perfil pultrudido a todo o comprimento. Para o nose e para o tail não flectirem utilizei uma configuração como pode ser vista na Figura 66. Nesta experiência utilizei 7 camadas de fibra com a configuração anteriormente mencionada, 2 perfis pultrudidos de 515 mm e 2 camadas com a forma de um skate para tampar o protótipo.

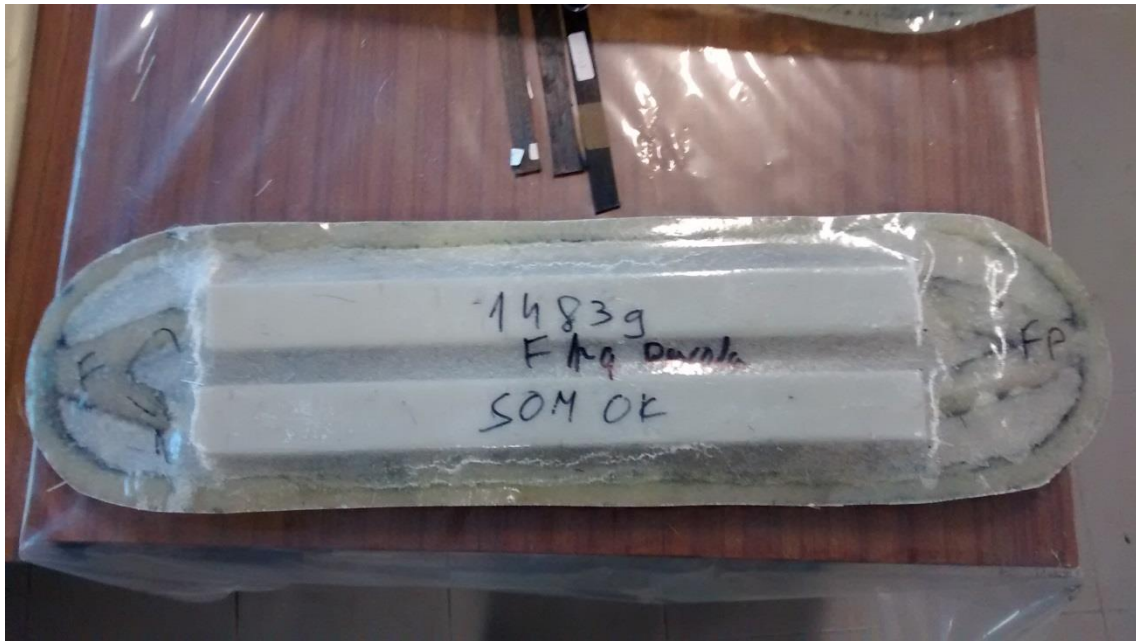


Figura 66 – Protótipo nº21

Resultados:

- Rigidez: A flexão tanto à largura como no centro do protótipo são inexistentes, mas devido aos perfis não terem ficado em contacto com a fibra na sua totalidade, estes descolaram fazendo com que estas características se deixassem de verificar. Relativamente ao nose e ao tail existe bastante flexão e quando se sujeita o protótipo a um grande esforço nestas zonas, a fractura ocorre na junção da fibra com os perfis.
- Peso: 1483g. 383g acima do peso ideal.
- Som: Igual a uma tábua de skate.

5.6.5 Protótipo nº22

Para este protótipo mantive a configuração utilizada na experiência anterior apenas alterando a quantidade de fibra a utilizar. De modo a conseguir poupar algum tempo ao tentar descobrir qual a quantidade de fibra a utilizar para que o nose e o tail não flectissem, neste protótipo optei por tratar-los separadamente. Posto isto utilizei 7 camadas com a configuração que pode ser vista na Figura 67 e 2 perfis pultrudidos de 515 mm. No nose acrescentei 5 tiras de fibra em forma triangular e no tail acrescentei 2 réguas do mesmo material dos perfis. Estas réguas devido à curvatura da tábua não me permitiram dar o acabamento necessário ao protótipo pelo que mesmo tendo um resultado positivo relativamente à flexão, não era possível a sua utilização.

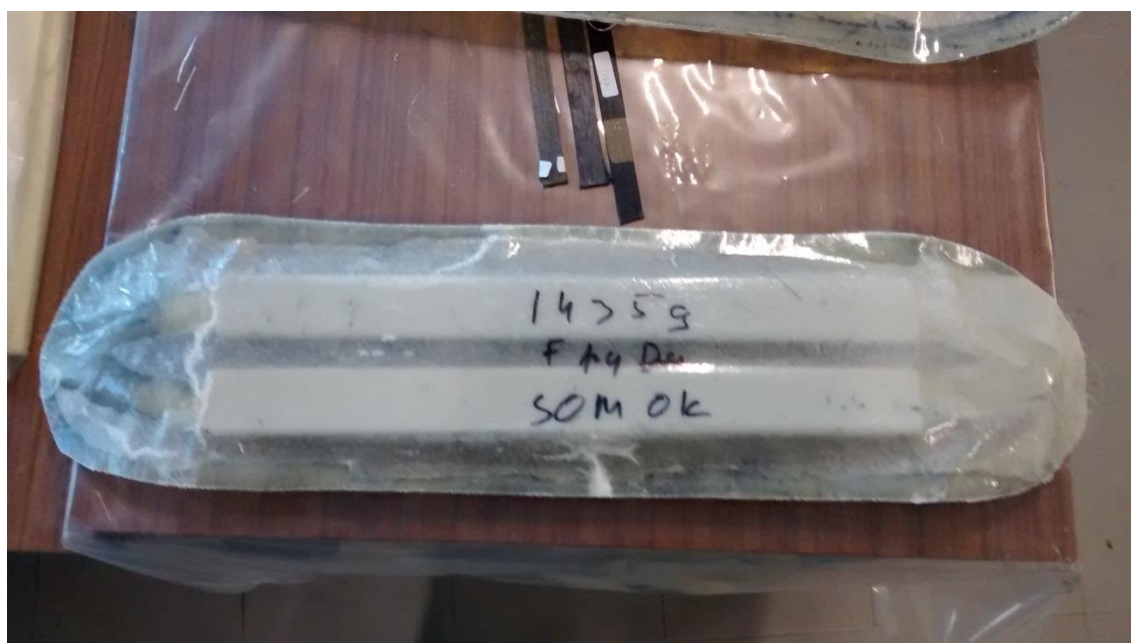


Figura 67 – Protótipo nº22

Resultados:

- Rigidez: O centro do protótipo voltou a sofrer o mesmo problema verificado anteriormente. Os perfis descolaram da fibra o que fez com que a flexão nesse local fosse muito elevada. Relativamente ao nose, o acrescimo de 5 tiras de fibra em forma triangular melhoraram significativamente a resistência à flexão mas o protótipo voltou a fracturar na junção da fibra com os perfis. No caso do tail, para além de ele flectir bastante, as réguas condicionaram o formato do protótipo não lhe conferindo as características normais de uma tábua de skate.

- Peso: 1435g. 335g acima do peso numa tábua normal de skate.
- Som: Igual a uma tábua de skate.

5.7 Protótipos em compósito de fibra de vidro, resina de poliéster, perfis pultrudidos e ninho de abelha como material de núcleo

5.7.1 Protótipo nº23

Para este protótipo segui o mesmo método de construção do protótipo anterior, ou seja, optei por configurar o tail e o nose de maneiras diferentes e ver em qual delas obtia um melhor resultado. Deste modo, este protótipo é constituído por 2 camadas de fibra com a forma normal de um skate para tamar o esqueleto que é composto por 7 camadas de fibra iguais à utilizada nos protótipos nº21 e nº22, 2 perfis pultrudidos para melhorar a resistência à flexão no centro. Relativamente ao nose foram acrescentadas 8 camadas em forma de triângulo e no caso do tail acrescentei 2 tiras de núcleo de ninho de abelha com uma largura de 30mm de modo a que pudessem ser inseridas nos perfis. Para combater as fracturas verificadas anteriormente na ligação dos perfis com o nose e o tail, reforcei esses locais com 4 tiras de fibra colocadas na vertical.



Figura 68 – Protótipo nº23

Resultados:

- Rigidez: Tanto o nose e o tail não flectem, os perfis utilizados no centro do protótipo voltaram a descolar comprometendo a rigidez do mesmo.
- Peso: 1590g. 490g acima do peso ideal tornando este protótipo impossível de utilizar.
- Som: Igual a uma tábua de skate.

Comentário:

Tanto o nose como o tail não apresentaram uma flexão significativa ao ponto de impossibilitar a prática do skate. Visto ter sido utilizado muito mais material no nose comparativamente com o tail, para o protótipo nº23 vou dar prioridade ao uso de núcleo de ninho de abelha no nose e no tail numa tentativa de diminuir o peso final. No início da construção deste protótipo estava um bocado céptico relativamente ao uso do ninho de abelha visto que em experiências anteriores o uso deste material comprometeu por completo o som. Com o resultado verificado neste protótipo nº22 posso concluir que se não for utilizado em grandes quantidades, o núcleo de ninho de abelha não condiciona o som. Para combater a flexão no centro vou ter de recorrer a perfis com uma altura maior já que

neste protótipo os perfis não colaram à camada de cima visto o núcleo de ninho de abelha ter uma espessura superior à altura dos perfis utilizados.

5.7.2 Protótipo nº24

Para este protótipo (Figura 69), tendo em consideração todos os resultados obtidos previamente, vou utilizar 2 camadas com a configuração tradicional dum skate, 7 camadas com a configuração utilizada no protótipo anterior, 4 tiras de núcleo de ninho de abelha (2 para o nose e 2 para o tail) e 2 perfis pultrudidos para o centro do protótipo. Também utilizei 3 tiras de fibra de vidro, tanto no nose como no tail, colocadas na vertical na junção do núcleo de ninho de abelha com o perfil para diminuir a probabilidade de ocorrer uma fractura nesse local.



Figura 69 – Protótipo nº24

Resultados:

- Rigidez: Não existe flexão no protótipo. Após sujeita-lo a grandes esforços mecânicos não se verificou nenhuma fractura.
- Peso: 1550g. 450g acima do peso ideal. É notório o excesso de peso aquando a utilização do protótipo.
- Som: Igual a uma tábua de madeira.

Comentário:

Este protótipo está muito próximo do objectivo final. O excesso de peso verificado deve-se em grande parte à utilização de 2 perfis. Alterada a configuração do mesmo irá ser possível a utilização de apenas um, diminuindo assim este valor. A solução poderá passar pela utilização de um perfil em “W”. A redução de peso também passará por remover o excesso de resina utilizada no protótipo.

6. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Todos estes protótipos foram desenvolvidos ao longo de um período de sensivelmente um ano e meio. Inicialmente quando abordei o Professor João Francisco não tinha em mente integrar este projecto na minha dissertação de mestrado, mas a oportunidade de conjugar as duas coisas surgiu e avancei. Deste modo consegui dedicar todo o meu tempo e energia na procura de uma solução para a construção de uma tábua de skate reforçada com fibra de vidro que se destacasse de todas as tábuas existentes actualmente no mercado. O início deste projecto foi bastante cativante e motivador. Após a construção do primeiro protótipo fiquei plenamente convencido que com apenas algumas alterações na composição da tábua iria chegar rapidamente a uma solução que satisfizesse todas as características que eu pretendia que esta tivesse. A verdade é que isso não se verificou. Para conseguir continuar com o projecto foi necessário construir uma prensa e os respectivos moldes. A construção da prensa foi um desafio interessante, inicialmente pesquisei equipamentos deste tipo no mercado mas o seu elevado preço rapidamente me fez desistir desta abordagem decidindo assim construí-la eu mesmo. Graças a esta acção desenvolvi algumas competências no manuseamento do equipamento disponível no laboratório de oficina mecânica do ISEP, sendo o produto final capaz de desempenhar as funções pretendidas. A construção dos moldes foi um processo mais moroso e com algumas complicações. Após visitar várias carpintarias e uma extensa pesquisa pela internet fiquei algo apreensivo já que os preços para os moldes que pretendia estavam muito acima das minhas possibilidades e era imperativa a utilização dos moldes para dar continuidade a este projecto. Graças à ajuda do meu pai, vários telefonemas e viagens depois, consegui encontrar um escultor que com o seu pantógrafo me construiu os moldes. Com esta solução consegui reduzir o preço dos moldes cerca de dez vezes relativamente aos encontrados tanto online como em outras carpintarias. Estando completa a construção da prensa e dos moldes pude finalmente continuar com a produção dos protótipos. Durante este processo estive várias vezes perto de um resultado final que correspondia às minhas expectativas mas havia sempre alguma característica, sendo ela a rigidez o som ou o peso, que não as satisfazia. Somente na recta final do projecto é que finalmente consegui construir um protótipo que à excepção do peso ia ao encontro daquilo que eu pretendia. Isto deveu-se à introdução de perfis pultrudidos na construção do protótipo, o que fez com que melhorasse significativamente a flexão verificada no centro do mesmo, flexão esta que representava a maior dificuldade de combater. Comparativamente à flexão verificada numa tábua de madeira, 5.2 mm, o valor obtido foi bastante menor – 3.3mm (Figura 70). De salientar que o excesso de peso é uma característica susceptível à mudança pois é possível otimizar o uso de resina no protótipo,

fazendo o peso do mesmo diminuir. Também a utilização de um perfil pultrudido diferente irá fazer com que este valor diminua. Portanto, para futuros protótipos vou estudar o impacto que a utilização de outros perfis tem na resistência à flexão e na diminuição de peso. Até agora apenas utilizei perfis em “U” mas existe uma grande variedade disponível no mercado. Um dos grandes problemas da utilização de perfis em “U” é que nas menores áreas de contacto entre ele e a fibra, ao ser exercido um grande esforço no centro do protótipo, o perfil e a fibra descolam fragilizando-o. Como tal penso que a solução poderá passar pela utilização de um perfil como visto na Figura 71 já que a área de contacto entre o perfil e a fibra vai ser muito maior diminuindo assim a probabilidade de ambos se descolarem.

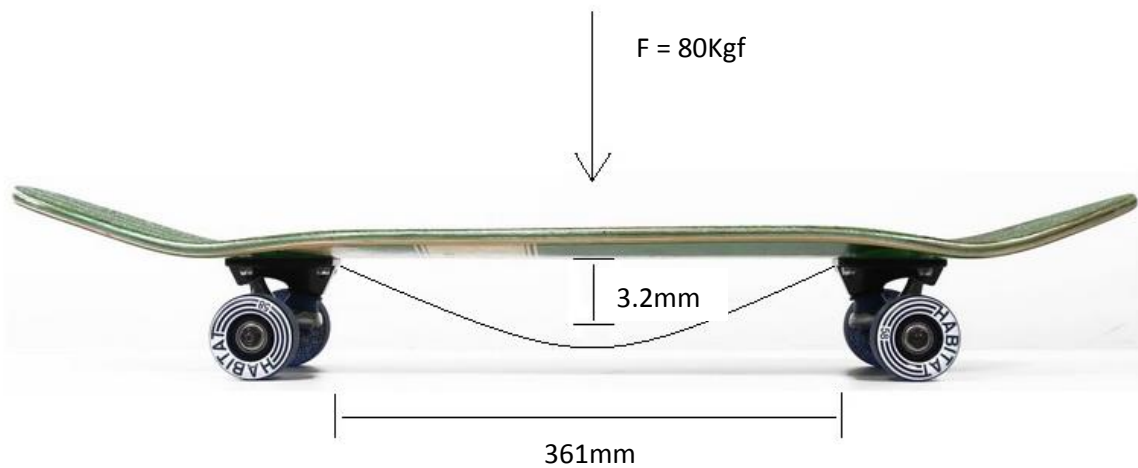


Figura 70 – Flexão verificada no protótipo nº24



Figura 71 - Perfil

Referências bibliográficas

- [1] de Castro, B.F.M., *Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais*, Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2013.
- [2] de S. F. de Moura, M.F., A.M.B. de Moraes, and A.G. de Magalhães, *Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico*. 2005: Publindústria
- [3] Gibson, R.F., *Principles of Composite Materials Mechanics*. 1994: Mcgraw Hill International Editions.
- [4] Correia, J.R., Branco, F., Ferreira, J., *The Use of Glass Fibre Reinforced Polymer Pultruded Profiles (GFRP) in Construction*, Instituto Superior Técnico.
- [5] Miracle, Daniel B. e Donaldson, Steven L. *ASM Handbook*. [ed.] ASM International. 2001. Vol. 21.
- [6] Chung, D.D.L., *Composite Materials: Functional Materials for Modern Technologies*. 2003: Springer.
- [7] Silva, J.F., *Estudo de Estruturas Compósitas Termoplásticas produzidas por enrolamento filamentar*, 2006, Universidade do Porto.

