

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE DESENHO INDUSTRIAL
CURSO DE BACHARELADO EM DESIGN

CARLA KARINE TANAKA
GABRIELA BULEGON FÁVERO

**CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DE FIBRA DE CARBONO EM PROJETO
DE DESIGN DE PRODUTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

CARLA KARINE TANAKA
GABRIELA BULEGON FÁVERO

**CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DE FIBRA DE CARBONO EM PROJETO
DE DESIGN DE PRODUTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Design, do Curso Superior de Bacharelado em Design da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba.

Orientador: Prof. Msc. Carlos Alberto Vargas

CURITIBA
2014

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO Nº 073

CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DE FIBRA DE CARBONO EM PROJETO DE DESIGN DE PRODUTO

por

CARLA KARINE TANAKA

GABRIELA BULEGON FÁVERO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 30 de maio de 2011 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM DESIGN, do Curso de Bacharelado em Design, do Departamento Acadêmico de Desenho Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. As alunas foram arguidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo, que após deliberação, consideraram o trabalho aprovado.

Banca Examinadora: Prof(a). Dr^a. Joselena de Almeida Teixeira
DADIN - UTFPR

Prof(a). Dr^a. Elenise Leocádia da Silveira Nunes
DADIN - UTFPR

Prof(a). Msc. Carlos Alberto Vargas
Orientador(a)
DADIN – UTFPR

Prof(a). Esp. Adriana da Costa Ferreira
Professor Responsável pela Disciplina TCC
DADIN – UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho a todos que nos apoiaram e colaboraram de alguma forma para que este projeto fosse realizado com sucesso e em especial para aqueles que nos apoiam desde o princípio de nossas vidas e nos deram suporte desde o início de nossa graduação, nossos pais: Carlos Norberto Fávero e Maria Helena Bulegon Fávero, Kaoru Jorge Tanaka e Mirian Maciel Pastor.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos professores da graduação, que, aos poucos ajudaram a formar nossos conhecimentos e interesses por diversas áreas do design presentes neste trabalho.

Em especial ao nosso orientador Carlos Alberto Vargas, pela constante inspiração na busca de excelência, aplicada em um ensino de constante renovação e evolução. Por nos orientar e desorientar nos projetos de Baja e Fórmula SAE e no presente trabalho, ter sempre um bom conselho ou desaconselho nas nossas horas de dúvida.

Aos servidores, em especial o “Seu Chico”, Sr. Francisco, marceneiro, amigo, ajudador de todas as horas com sorriso a toda prova. E ao Maurílio, estagiário do CNC, por todo auxílio prestado neste e em diversos outros da graduação. Por nos ajudar a pensar com outro ponto de vista e ensinar novas técnicas a cada conversa. Acompanhar, dar ideias e ajudar a tornar esse trabalho real.

Aos amigos, aos que nos acompanharam durante todo o curso, aos que surgiram pelo caminho, aos que compreenderam a nossa ausência e os que estiveram presentes todo o tempo de alguma forma. Em especial para nossas irmãs, Fernanda Tanaka e Viviane Fávero, amigas desde sempre e para todo sempre, que ocupam lugar especial em nossas vidas e corações.

Aos nossos pais, a quem devemos tudo. Os mentores de quem somos, do que acreditamos e que nos apoiaram para que chegássemos até aqui. Todo amor e apoio incondicionais de vocês foram essenciais desde o nosso nascimento. Citar seus nomes neste trabalho não significa nada perante o significado que têm para nós e do amor que sentimos cada vez que pensamos em vocês. Muito obrigada, amamos muito vocês.

À Equipe Imperador UTFPR de Baja, que foi durante 4 anos a única do mundo a fazer Fórmula SAE e Baja com a mesma equipe e recursos tão limitados. O aprendizado proporcionado pela participação nesses projetos, os amigos e os momentos ficarão para sempre em nossas memórias. Agradecemos também por ceder seu espaço e recursos para continuarmos nosso projeto mesmo após a decisão de ser uma equipe de dedicação exclusiva ao Baja SAE.

EPÍGRAFE

"Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá."

Ayrton Senna

RESUMO

FÁVERO, Gabriela Bulegon. TANAKA, Carla Karine; **Características e aplicações de fibra de carbono em projeto de design de produto**. 2014. 120 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Bacharelado em Design, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

Cada projeto de design possui suas particularidades e necessidades e, para atender da melhor forma possível a proposta de uso e os requisitos de projeto, a escolha do material é primordial. Serão apresentados nesse trabalho os materiais compósitos, materiais tecnológicos capazes de unir propriedades de materiais comuns, aumentando performance e combinando propriedades. Dentre os materiais compósitos encontra-se a fibra de carbono, um material que oferece uma das melhores razões peso-resistência entre todos os materiais conhecidos e que, em conjunto com a resina epóxi, apresenta uma combinação singular de propriedades. As propriedades da combinação fibra de carbono e epóxi são ideais para o projeto do produto escolhido, um volante para carro de competição estilo Fórmula SAE. Um projeto exige tenacidade e boa resistência utilizando pouco peso. Serão apresentadas, portanto, as propriedades, classificação de materiais e os processos produtivos mais utilizados, focando em demonstrar todo o processo produtivo de molde e laminação manual. Incluindo etapas de desenvolvimento de projeto de design que contempla etapas de conceituação de projeto que incluem a geração e seleção de alternativas baseando-se nos requisitos de projeto e especificações ergonômicas, pesquisa com público alvo, modelagem 2D e 3D da alternativa selecionada, produção e testes de modelos volumétricos e *mock-up*, realizados com amostras dos percentis ergonômicos adequados, utilização de matriz de decisão para avaliar os modelos selecionados, adequação dos modelos a partir de análise da matriz de decisão, utilizando métodos MESCRAI e adição da proporção áurea. Fabricação de molde, aplicação de desmoldantes e demonstração de processo de laminação manual e acabamentos posteriores, como pintura e polimento. Os processos descritos neste trabalho foram escolhidos, tomando como parâmetro principal, a produção de uma peça laminada fora do ambiente industrial, e focalizando em métodos acessíveis para que as equipes de Fórmula SAE e outros membros acadêmicos possam reproduzir o processo completo sem grandes dificuldades, utilizando as mesmas técnicas empregadas para a construção do protótipo apresentado neste trabalho. Após a realização de todas as etapas será dado um *feedback* do processo, apresentando erros e acertos e disponibilizando sugestões de produtos e métodos utilizados que apresentaram resultados mais satisfatórios em comparação a outros disponíveis no mercado. Como complemento para o objetivo principal, que é a produção de um protótipo laminado com a fibra de carbono sem a utilização de recursos industriais, foi utilizado o “conceito *do it yourself*”, que apresenta como fundamento principal a disponibilização do projeto desenvolvido para que outros interessados possam, através deste trabalho, reconstruir o mesmo produto ou utilizar-se dos conhecimentos apresentados para confeccionar um novo projeto.

Palavras-Chaves: Design. Materiais compósitos. Fibra de carbono. Resina epóxi. Volante de Fórmula. Laminação.

ABSTRACT

FÁVERO, Gabriela Bulegon. TANAKA, Carla Karine; **Features and applications of carbon fiber design product design.** In 2014. 120 p. Final Year Research Project – Bachelor in Design, Federal University of Technology – Paraná, Curitiba, 2014.

Each design project has its particularities and needs and, in order to meet optimally the proposed use and the design requirements, the choice of material is paramount. This work contains the composite materials, technological materials capable of uniting properties of common materials, increasing performance and matching properties. Among the composite materials, there is carbon fiber, a material that offers the best strength-to-weight reasons between all known materials and which together with the epoxy resin has a unique combination of properties. The properties of the combination of carbon fiber and epoxy are ideal for the product design chosen (a steering wheel for Formula-style race car) that requires toughness and good resistance using lightweight. Properties, material classification and most used manufacturing processes, therefore, will be presented, focusing in demonstrating the entire mold production process and manual lamination. Including development steps of design project that contains project conceptualization steps, generation and selection of alternatives based on project requisites and ergonomic specifications, target audience research, 2D and 3D modeling of the selected alternative, production and tests of volumetric models and mock-up, made with samples of the adequate ergonomic percentiles, use of decision matrix to review the selected models, model adequation according to the decision matrix analysis, using MESCRAI methods and addition of the golden proportion. Mold manufacturing, mold releasers application and manual lamination process demonstration and further finishing, like painting and polishing. The processes described were chosen, based on a main parameter of manufacturing of a laminated part out of the industrial environment, and focusing on accessible methods so that Formula SAE and other academic members can reproduce the whole process without major problems, using the same techniques employed to build the prototype presented in this work. After all the steps a feedback of the process will be given, presenting faults and successes and providing product and method suggestions that had more satisfactory results comparing to others available in the market. As a complement to the main objective, which is the manufacturing of a laminated prototype with carbon fiber without industrial resources, the concept of “do it yourself” was used, that has the main foundation of providing the developed project so that other interested, can, through this work, rebuild the same product or use the presented knowledge to fabricate a new project. For this, sites that provide experience exchange and ability to store and consult new projects were used.

Key Words: Design. Composite materials. Carbon fiber. Epoxy resin. Formula steering wheel. Lamination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| FIGURA 01 - ARCOS COREANOS FEITOS COM COMPÓSITOS..... | 18 |
| FIGURA 02 - EVOLUÇÃO DO NÚMERO CUMULATIVO DE ELEMENTOS QUÍMICOS DESCOBERTOS NOS ÚLTIMOS DOIS MILÊNIOS..... | 20 |
| FIGURA 03 - ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS COMPÓSITOS SEGUNDO CALLISTER..... | 24 |
| FIGURA 04 - LAMINAÇÃO MANUAL..... | 30 |
| FIGURA 05 - PROCESSO DE INJEÇÃO..... | 32 |
| FIGURA 06 - REPRESENTAÇÃO DOS TIPOS DE ENROLAMENTO DAS FIBRAS..... | 34 |
| FIGURA 07 - DETALHAMENTO DA PRODUÇÃO POR PULTRUSÃO..... | 35 |
| FIGURA 08 - ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FIBRA DE CARBONO A PARTIR DE POLIACRILONITRILÓ..... | 38 |
| FIGURA 09 - ENTRADAS E PRINCIPAIS RESULTADOS DA FASE DE CONFIGURAÇÃO DE PROJETO..... | 41 |
| FIGURA 10 - GRÁFICO - QUANTAS VEZES VOCÊ JÁ PILOTOU UM VEÍCULO DE FÓRMULA SAE..... | 43 |
| FIGURA 11 - GRÁFICO - REQUISITOS MAIS IMPORTANTES PARA UM VEÍCULO DE FSAE..... | 44 |
| FIGURA 12 - NA ESCOLHA DE UM VOLANTE DE FSAE PARA SUA EQUIPE QUAIS SERIAM OS REQUISITOS QUE INFLUENCIARIAM SUA DECISÃO..... | 45 |
| FIGURA 13 - PAINEL SEMÂNTICO – CONCEITO VISUAL AYRTON SENNA | 49 |
| FIGURA 14 - PAINEL SEMÂNTICO COM USUÁRIOS..... | 50 |
| FIGURA 15 - PAINEL SEMÂNTICO COM MODELOS..... | 51 |
| FIGURA 16 - ESBOÇOS INICIAIS..... | 52 |
| FIGURA 17 - ALTERNATIVAS SELECIONADAS..... | 54 |
| FIGURA 18 - DIMENSÕES A SEREM SEGUIDAS..... | 55 |
| FIGURA 19 - ALTERNATIVAS SELECIONADAS DESENHADAS NO PROGRAMA RHINOCEROS..... | 56 |
| FIGURA 20 - MODELOS USINADOS..... | 57 |
| FIGURA 21 - PERCENTIS MASCULINOS..... | 58 |
| FIGURA 22 - PERCENTIS FEMININOS..... | 59 |
| FIGURA 23 - EXEMPLO DE CONSTRUÇÃO DE UMA MATRIZ DE DECISÃO..... | 60 |
| FIGURA 24 - MATRIZ DE DECISÃO..... | 62 |
| FIGURA 25 - RESULTADO DA PESQUISA POR MODELO AVALIADO..... | 63 |
| FIGURA 26 - MODELOS 3 E 6, ESCOLHIDOS PARA REALIZAR MELHORIAS..... | 64 |
| FIGURA 27 - REPRESENTAÇÃO DAS SEÇÕES DA PROPORÇÃO AUREA | 65 |
| FIGURA 28 - EXEMPLO DE DIVISÃO DE UM RETÂNGULO DINÂMICO..... | 66 |
| FIGURA 29 – INÍCIO DO DESENVOLVIMENTO DE MODELO ATRAVÉS DO MÉTODO DE MESCRAI..... | 67 |
| FIGURA 30- TESTE DE MODELO 06..... | 68 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 31 - TESTE DE MODELO 03..... | 68 |
| FIGURA 32 - MODELO COM PEGA ÚNICA..... | 69 |
| FIGURA 33 - MODELO COM APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA FIBONACCI..... | 69 |
| FIGURA 34 - DESENHOS 2D DO MOCK-UP – “MODELO 07”..... | 70 |
| FIGURA 35 - MODELO VOLUMÉTRICO..... | 70 |
| FIGURA 36 - TESTE DE MODELO 07 POR VOLUNTÁRIO DO PERCENTIL 99 MASCULINO..... | 71 |
| FIGURA 37 - TESTE DE MODELO 07 POR VOLUNTÁRIO DO PERCENTIL 50 MASCULINO..... | 71 |
| FIGURA 38 - PERSPECTIVA DE MODELAGEM 3D..... | 73 |
| FIGURA 39 - MODELO RENDERIZADO COM MATERIAL APLICADO..... | 73 |
| FIGURA 40 - INÍCIO DE DESBASTE DA CHAPA DE PU..... | 75 |
| FIGURA 41 - USINAGEM DO PRIMEIRO LADO DO MOCK-UP..... | 75 |
| FIGURA 42 - USINAGEM DO SEGUNDO LADO DO MOCK-UP..... | 76 |
| FIGURA 43 - MOCK-UP PRONTO..... | 76 |
| FIGURA 44 - TESTE DE MOCK-UP COM PERCENTIL 1 FEMININO..... | 77 |
| FIGURA 45 - TESTE DE MOCK-UP COM PERCENTIL 99 MASCULINO..... | 77 |
| FIGURA 46 - LADO 1 DO MOLDE EM 3D – REBAIXO EM UM SÓLIDO COM A MESMA ESPECIFICAÇÃO DA CHAPA A SER UTILIZADA..... | 79 |
| FIGURA 47 - MOLDE USINADO EM PU..... | 80 |
| FIGURA 48 - MOLDE COM UMA FINA CAMADA DE MASSA PLÁSTICA..... | 81 |
| FIGURA 49 - MOLDE SENDO LIXADO COM LIXA D’ÁGUA..... | 81 |
| FIGURA 50 – MOLDE SENDO PINTADO..... | 82 |
| FIGURA 51 - MOLDE POLIDO COM MASSA DE POLIR Nº2..... | 83 |
| FIGURA 52 - MOLDE SENDO ENCERADO..... | 84 |
| FIGURA 53 - MOLDE COM SEPAROL..... | 85 |
| FIGURA 54 - AJUSTANDO CORTES DE TECIDO DE FIBRA DE CARBONO..... | 86 |
| FIGURA 55 - MOLDES DE TECIDO DE FIBRA DE CARBONO ENUMERADOS..... | 87 |
| FIGURA 56 - PROCESSO DE LAMINAÇÃO DO VOLANTE..... | 88 |
| FIGURA 57 - PEÇA RETIRADA DO MOLDE..... | 90 |
| FIGURA 58 - RETIRADA DAS REBARBAS..... | 90 |
| FIGURA 59 - DESMOLDANTE E MASSA PLÁSTICA SOBRE A PEÇA..... | 91 |
| FIGURA 60 - VOLANTE APÓS LIMPEZA..... | 92 |
| FIGURA 61 - VOLANTE COM DUREPÓXI..... | 93 |
| FIGURA 62 - PINTURA COM PRIMER..... | 94 |
| FIGURA 63 - PINTURA COM TINTA AUTOMOTIVA..... | 95 |
| FIGURA 64 - SUPORTE PARA PINTURA AUTOMOTIVA..... | 96 |
| FIGURA 65 - VOLANTE COM ACABAMENTOS..... | 97 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL | 13 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 15 |
| 2 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS | 17 |
| 2.1 HISTÓRIA DOS MATERIAIS..... | 17 |
| 2.2 EVOLUÇÃO NO ESTUDO DE MATERIAIS..... | 19 |
| 3 MATERIAIS COMPÓSITOS | 21 |
| 3.1 PROPRIEDADES | 21 |
| 3.2 APLICAÇÕES | 22 |
| 3.3 CLASSIFICAÇÃO | 23 |
| 3.4 FASE FIBRA..... | 25 |
| 3.5 FASE MATRIZ..... | 26 |
| 3.5.1 Compósitos de Matriz Polimérica..... | 26 |
| 3.5.2 Compósitos com Matriz Metálica | 27 |
| 3.5.3 Compósitos com Matriz Cerâmica..... | 27 |
| 3.6 Tipos de Compósitos | 28 |
| 3.6.1 Compósitos Carbono-carbono | 28 |
| 3.6.2 Compósitos Híbridos..... | 29 |
| 3.7 PROCESSOS DE MOLDAGEM | 29 |
| 3.7.1 Laminação Manual..... | 30 |
| 3.7.2 Laminação a Vácuo | 31 |
| 3.7.3 Laminação por Injeção | 31 |
| 3.7.4 Laminação Automatizada..... | 33 |
| 3.7.5 Cura e Autoclave | 35 |
| 4 SELEÇÃO DO MATERIAL PARA O PROJETO | 37 |
| 4.1 RESINA EPÓXI | 37 |
| 4.2 A FIBRA..... | 38 |
| 5 O PRODUTO | 39 |
| 6 METODOLOGIA | 41 |
| 6.1 REQUISITOS DE PROJETO | 42 |
| 6.1.1 Público Alvo | 42 |
| 6.1.2 Regulamento | 46 |
| 6.1.3 Pesquisa Ergonômica | 46 |
| 6.2 CONCEITO | 47 |
| 6.3 GERAÇÃO DE IDEIAS | 49 |
| 6.4 SELEÇÃO DE IDEIAS | 52 |
| 6.5 TESTES COM MODELOS VOLUMÉTRICOS MATRIZ DE DECISÃO | 56 |
| 6.6 MOCK-UP | 64 |
| 6.6.1 Produção Do Mock-Up | 70 |

| | |
|---|------------|
| 6.6.1.1 Modelagem Em 3d | 72 |
| 6.6.1.2 Programação Para Usinagem 3d | 74 |
| 6.6.2 Teste Do Mock-Up | 77 |
| 7 PROTÓTIPO | 78 |
| 7.1 MODELO 3D | 78 |
| 7.2 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MOLDE | 79 |
| 7.3 LAMINAÇÃO | 83 |
| 7.4 ACABAMENTOS | 89 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 98 |
| REFERÊNCIAS | 101 |
| SITES CONSULTADOS | 104 |
| APÊNDICE A – Seção T6.5 do Artigo 6 referente ao Regulamento FSAE | 105 |
| APÊNDICE B – Pesquisa com o público alvo realizada online | 106 |
| APÊNDICE C – Formulários de avaliação dos modelos usinados em 2D e termo de autorização de vinculação e divulgação das respostas | 110 |
| APÊNDICE D – Vistas ortográficas do volante | 118 |

1 INTRODUÇÃO

Quando um produto é idealizado, faz-se necessária a escolha do material e do processo de fabricação a ser utilizado para torna-lo real. Cada projeto possui especificações e requisitos, que devem ser seguidos para alcançar um bom resultado. Peso, resistência, custo, facilidade no processo de fabricação, são inúmeras as variáveis, faz-se portanto necessário estudar as diversas classes de materiais que possibilitam sua fabricação.

No entanto, em alguns casos específicos, o projeto pode possuir particularidades que exijam características que não são encontradas em materiais previamente estudados e conhecido. Põe-se então em prática o estudo e desenvolvimento de novos materiais e, conseqüentemente novas formas de sintetizá-los e processá-los. Por esse motivo o campo do estudo de novos materiais vem crescendo muito nas últimas décadas. “Ciência e Engenharia dos Materiais (CEMat) é um campo interdisciplinar voltado à invenção de novos materiais e ao aperfeiçoamento dos já conhecidos, mediante o desenvolvimento da correlação composição-microestrutura- síntese-processamento.” (ASKELAND; PHULÉ, 2008, p.2)

Em meio aos diversos novos materiais criados pelo homem para suprir as suas necessidades e demandas de mercado, estão os materiais compósitos. Segundo Askeland e Phulé (2008), a principal intenção ao se criarem materiais compósitos é a combinação das diferentes propriedades encontradas em certos materiais. Geralmente são feitos com a junção de dois ou mais materiais que propiciam o surgimento de um novo material com características únicas, que não são encontradas em nenhum desses materiais isoladamente.

Dentre os materiais compósitos encontra-se a fibra de carbono mostra-se um material que oferece uma das melhores razões peso-resistência entre os materiais conhecidos. A fibra de carbono é utilizada com uma matriz de endurecimento, que neste caso específico será a resina epóxi. A resina epóxi foi escolhida, pois segundo Pires (2012) apresenta uma combinação singular de propriedades, como resistência à tração e tenacidade, resistência química, à umidade e à corrosão, boas propriedades térmicas, adesivas e elétricas.

O carbono-epóxi é utilizado em projetos que precisam de uma redução de peso, mas que mantenham uma alta resistência. Muitos produtos de design se utilizam desse material para tornar seu projeto mais eficaz e aprimorar os resultados finais.

Um desses casos onde o material é decisivo para o melhor desempenho do produto é o volante utilizado em corridas do tipo Fórmula. A redução de peso do produto auxilia na melhoria da performance do veículo, economizando a quantidade de combustível necessário para fazê-lo se movimentar. A resistência e segurança do produto também são essenciais, visto que o volante está sujeito às forças geradas pelo condutor em casos de trepidação ou torção excessiva, relacionados ao sistema de direção e suspensão do veículo.

Fórmula SAE é uma competição onde estudantes de diversas universidades formam equipes multidisciplinares que disputam entre si. Criada nos Estados Unidos, a competição começou a ser realizada no Brasil em 2004. As equipes inscritas têm de projetar e construir um veículo do tipo fórmula seguindo os regulamentos estabelecidos pela SAE (Society of Automotive Engineers). A competição avalia o desempenho de cada carro através de provas específicas, como o enduro, prova de tração, resistência, etc.

O conceito por trás do Fórmula SAE é que uma empresa de fabricação fictícia contratou uma equipe de projetistas para desenvolver um carro de corrida pequeno no estilo Formula. O protótipo do carro de corrida será avaliado pelo seu potencial como um item para produção. O alvo de marketing para o carro de corrida são os pilotos não-profissionais de *autocross*. Cada aluno da equipe projeta, constrói e testa um protótipo baseado em uma série de regras cujo objetivo é tanto para garantir as operações no local do evento e promover soluções inteligentes para problemas. (SAE-INTERNACIONAL, 2013).

1.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar informações sobre a fibra de carbono usada juntamente à resina epóxi, ambas aplicadas na produção de um objeto de design.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reunir o maior número de informações técnicas sobre a fibra de carbono e a resina epóxi, direcionando esses dados de forma relevante às pesquisas acadêmicas no Brasil e disponibiliza-las para consultas futuras;
- Oferecer exemplos práticos de como aplicar o carbono-epóxi e apontar vantagens e desvantagens do uso da fibra de carbono em diferentes áreas de projeto de produto;
- Aplicar o carbono-epóxi em um projeto de design de produto que ajude a comprovar a possibilidade da fabricação de artefatos fora do ambiente industrial;
- Incorporar ao trabalho a fabricação do molde para a produção da peça, desde sua concepção, modelagem 3D e etapas de fabricação detalhada.

1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização de materiais compósitos está se tornando, cada vez mais, imprescindível conforme a demanda de novos produtos e tecnologias aumenta. Nesse sentido, os compósitos vêm atendendo a muitas necessidades especiais dos mais diferentes ramos do mercado.

Após décadas de uso restrito em alguns setores da indústria, como na área de mísseis, foguetes e aeronaves de geometrias complexas, os compósitos poliméricos estruturais, também denominados avançados, têm ampliado a sua utilização em diferentes setores da indústria moderna, com um crescimento de uso de 5 % ao ano. Atualmente, a utilização de estruturas de alto desempenho e com baixo peso tem sido feita nas indústrias automotiva, esportiva, de construção civil, entre outras (REZENDE; BOTELHO, 2000).

Dentre os materiais compósitos encontra-se a fibra de carbono que apresenta características únicas, fazendo dela uma opção de material leve e resistente, que possibilita a produção de muitos projetos inovadores que antes não ofereciam resultados satisfatórios ou não eram viáveis de se produzir tendo em mente os componentes puros conhecidos até então.

Segundo Carvalho et al (1999) a tecnologia da fibra de carbono começou a se desenvolver em 1878 por Thomas Edison, mas só começou a ser produzido comercialmente em 1964. Desde então ela tem se popularizado, porém ainda não é muito utilizada fora dos ramos da indústria aeronáutica, aeroespacial, bélica, automotiva, hospitalar, esportiva e na composição de materiais para construção civil.

A alta necessidade de tecnologia na produção de moldes e na laminação de peças em fibra de carbono, fez com que esse material fosse encontrado majoritariamente nos ramos industriais citados anteriormente.

Ao buscar-se referências para a produção em baixa escala de produtos em fibra de carbono, encontrou-se pouca bibliografia e referências, tanto sobre a produção de moldes quando a laminação manual.

Pensando nisso, estipulou-se que este trabalho traria, além de todas as informações sobre o carbono-epóxi, informações sobre os processos de fabricação para moldes e um *feedback* das dificuldades encontradas durante o processo realizado pela equipe.

Quando se utiliza a fibra de carbono é necessário o emprego de uma matriz polimérica, que conforme citado anteriormente será a resina epóxi.

No caso de compósitos poliméricos, outro importante constituinte é a matriz polimérica. Esta tem as funções de agregar as fibras, dar proteção às suas superfícies contra danos por abrasão e atenuar os efeitos adversos das condições ambientais na utilização do compósito (CUNHA, et al., 2009, p. 294)

A utilização da resina visa aumentar as propriedades químicas e físicas, agregando durabilidade ao produto desenvolvido. A resina epóxi é utilizada não somente em conjunto com a fibra de carbono, mas também com a fibra de vidro e aramida.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho apresenta uma breve história de como começaram os estudos de materiais, a sua evolução com o passar dos anos e a necessidade do ser humano em criar novas tecnologias. Também irá mostrar a relação dos tipos de materiais conhecidos até hoje e a sua classificação em seis grupos distintos.

Após essa etapa são apresentadas as principais propriedades, características e aplicações da fibra de carbono e da resina epóxi termofixa, que são um dos objetos de estudo desse trabalho. São apontados também os seus respectivos métodos de fabricação industrial e as justificadas que levaram à escolha de cada material.

Em seguida, é feita uma pesquisa com base nos dados levantados anteriormente para averiguar qual o melhor objeto de design de produto a ser produzido, de acordo com as propriedades do material e as necessidades do produto, utilizando um método de fabricação alternativo, que não seja o industrial. Essa escolha é feita de modo a aplicar da melhor maneira possível as informações recolhidas com os estudos realizados. Para a definição do objeto também foi levado em consideração as possibilidades e restrições existentes para a sua fabricação, tendo em mente que ele seria executado com os recursos disponíveis na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, com apoio do DADIN (Departamento de Desenho Industrial) e com possível auxílio de empresas do ramo.

Para o desenvolvimento do produto escolhido utilizou-se como referência a metodologia de Projeto de Produto por Mike Baxter (2011), que contempla as etapas de escolha e desenvolvimento de um produto de sua concepção ao protótipo.

2 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Cada material possui uma série de propriedades que permitem que eles sejam classificados por suas similaridades, sejam elas mecânicas, térmicas, elétricas, óticas, etc. Baseando-se nessas propriedades foram criadas as famílias de materiais que são separadas de maneiras distintas, variando de autor para autor.

Existem muitas formas de se classificar os diferentes tipos de materiais baseando-se em suas similaridades, como por exemplo, a classificação funcional onde os materiais são divididos em grupos separando-os com base na função em que são mais utilizados ou a classificação com base na sua microestrutura, seu arranjo atômico ou composição química.

Mas geralmente os materiais são divididos em categorias mais abrangentes. Para esse trabalho foi adotada a classificação feita por Ashby (2007) em "*Materialsselection in mechanical design*". Nessa classificação as famílias de materiais são separadas devido a algumas características em comum, como as suas propriedades (químicas, físicas, óticas, etc.), percurso do processo de fabricação e em alguns casos as aplicações que possuem em comum. Baseando-se nessas semelhanças, Ashby separou os materiais em seis grupos: cerâmicos, metálicos, vidros, polímeros, elastômeros e híbridos.

As categorias de cerâmica, metal, vidro, polímeros e elastômeros podem ser combinadas para criar um elemento híbrido. Neste trabalho será estudado um grupo específico de materiais híbridos, os materiais compósitos.

A junção de materiais usada para a formação de um material compósito visa à melhor combinação de propriedades de cada família de materiais. Essa combinação tem ainda como objetivo a minimização das desvantagens de cada material quando este é usado isoladamente.

2.1 HISTÓRIA DOS MATERIAIS

Desde os primórdios da humanidade o homem apresenta um interesse muito grande em dominar os animais, a natureza e os materiais que dela provem, utilizando-

se disso para melhorar significativamente sua vida e a interação com o ambiente a sua volta.

Sabe-se que depois do estabelecimento da agricultura e pecuária, iniciou-se o sedentarismo e junto dele a necessidade de se armazenar e estocar alimentos foram aumentando conforme aumentava a sua produção.

A argila foi o primeiro material estrutural inorgânico a adquirir propriedades completamente novas como resultado de uma operação intencional realizada por seres humanos. Esta operação foi a queima (sinterização) que tornou possível a obtenção de potes, panelas e outros utensílios cerâmicos com enorme impacto na vida e nos hábitos do homem. Segundo Kranzberg e Smith, este foi talvez o começo da engenharia dos materiais. (PADILHA, 1997, p.16).

Com o sedentarismo surgiu também a necessidade de se conseguir construções mais resistentes que durassem por mais tempo, sem a obrigação de viver em locais onde existiam cavernas ou outros locais seguros oferecidos pela natureza.

Desta forma os recursos naturais foram largamente usados e rapidamente apareceram os primeiros compósitos. Por exemplo, paredes reforçadas com feixes de palha para aumentar a integridade estrutural, bem como arcos e carroças constituídos pela união de paus, ossos e chifres de animais para uso pessoal (VENTURA, 2009, p.10).

Na figura abaixo (figura 01), é possível perceber a utilização de materiais como ossos, chifres e paus, empregados para aumentar a resistência do arco, caracterizando os primeiros materiais compósitos.

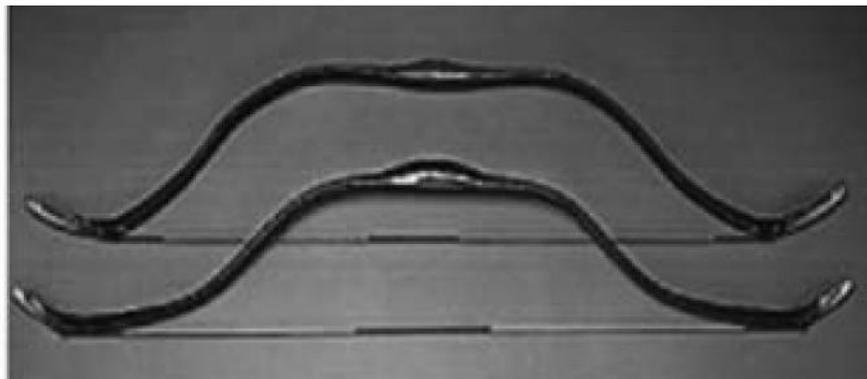


Figura 01: Arcos coreanos feitos com compósitos
Fonte: Ventura (2009).

Percebe-se através destes dados que os compósitos foram utilizados desde as primeiras civilizações e foram aplicados em certos projetos para lhes conferir mais resistência e durabilidade. No entanto passou-se muito tempo desde as suas primeiras utilizações para que os materiais compósitos obtivessem certa atenção por parte dos estudiosos.

Mas de fato, os materiais compósitos só voltaram a ser estudados e utilizados em grande escala na segunda metade do século XX. Eles foram usados em estruturas leves que trouxeram soluções inovadoras para a época, como em capacetes militares e peças de carros. Durante as décadas de 80 e 90 os compósitos passaram a ser muito utilizados para promover um melhor desempenho de veículos espaciais e aviões militares, bem como na indústria bélica (VENTURA, 2009).

2.2 EVOLUÇÃO NO ESTUDO DE MATERIAIS

Em termos de evolução, a grande revolução no estudo de materiais foi a invenção do microscópio eletrônico. Ele permitiu a observação microscópica da microestrutura dos materiais e a correlação com suas propriedades. Isso ocasionou uma mudança enorme no modo como se via e estudava os materiais (PADILHA, 1997).

Através do microscópio eletrônico foi possível observar a estrutura interna de cada material e fazer relações de porque alguns materiais apresentavam certas características enquanto outros apresentavam características opostas. Estas descobertas possibilitaram a classificação dos materiais por diferenciação dos elementos químicos que os compunham, suas particularidades e comportamentos.

Segundo Padilha (1997) “A maioria dos elementos químicos foi descoberta nos últimos 250 anos”, como é possível perceber através da figura 02. Atualmente esses elementos são empregados em vários ramos da indústria, possibilitando a fabricação de novos componentes que antes eram apenas idealizados.

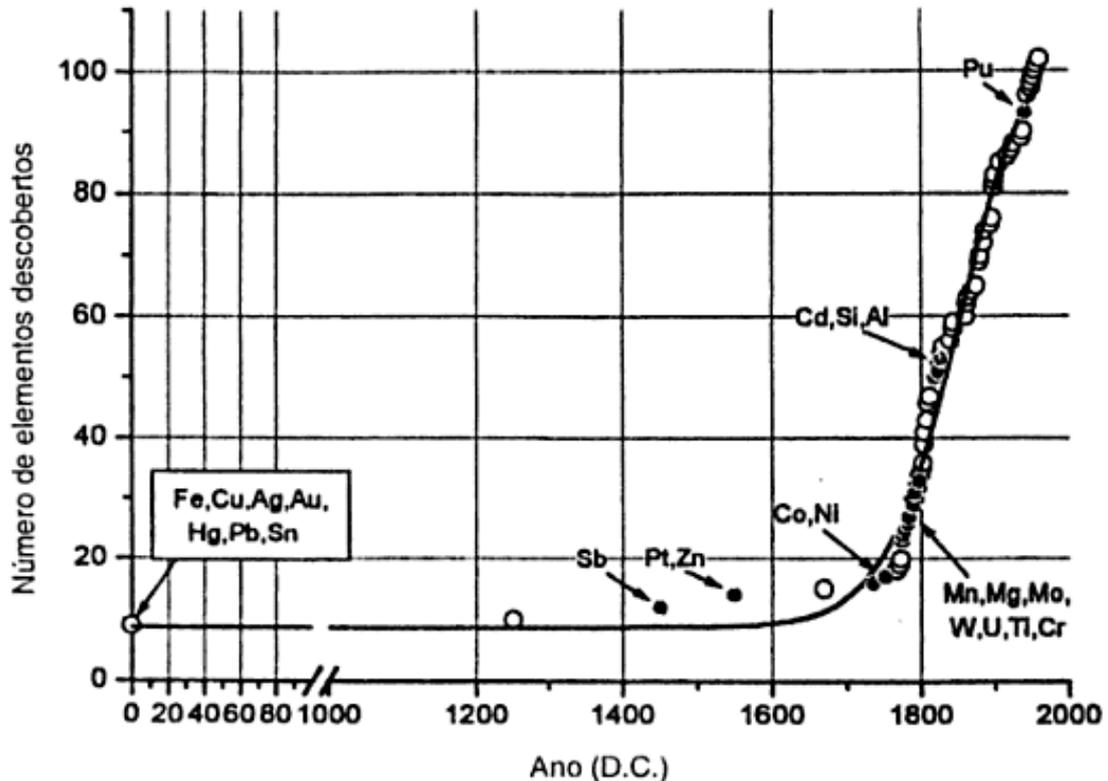


Figura 02: Evolução do número cumulativo de elementos químicos descobertos nos últimos dois milênios

Fonte: Padilha (1997).

Com a descoberta de novos elementos químicos foi possível começar uma série de estudos que colocavam em prática a combinação desses elementos na tentativa de se criar novos materiais. O estudo e combinação de elementos químicos para formação de novos materiais são altamente incentivados pelas indústrias que se beneficiam com os resultados dessas pesquisas. Cada nova descoberta gera novas possibilidades e pode ocasionar uma facilitação no método de produção, bem como a redução de custos.

Conforme a tecnologia foi se desenvolvendo, o nível das exigências requisitadas aos materiais também cresce, o que levou ao aparecimento de compósitos capazes de corresponder às novas necessidades (VENTURA, 2009).

Entretanto, a indústria de compósitos é nova. Ela cresceu rapidamente nos últimos 30 anos com o desenvolvimento de compósitos fibrosos: para começar, polímeros reforçados com fibra de vidro (GFRP ou fibra de vidro) e, mais recentemente, polímeros reforçados com fibra de carbono (CFRP) (ASHBY; JONES, 2007, p. 284).

3 MATERIAIS COMPÓSITOS

Por definição materiais compósitos, também conhecidos como compostos são formados por dois ou mais materiais distintos de forma a gerar um material superior aos iniciais, acrescentando características não encontradas nos materiais separadamente. Segundo Gay (2007) combinar materiais é algo que já vem da antiguidade, sabe-se que a combinação de argila com palha, por exemplo, pode ser definido como um material compósito. A combinação de materiais traz uma nova perspectiva de variedades de materiais com propriedades não encontradas nos materiais convencionais.

De acordo com Jones (1975) as propriedades de materiais em combinações compostas podem ser melhoradas com relação à força, dureza, resistência ao desgaste, atratividade, vida útil, comportamento em condições de temperatura, isolamento térmico, condutibilidade térmica e mesmo isolamento acústico. O resultado do compósito não contempla todas as características citadas em um único material, busca-se desenvolvê-lo de forma a alcançar a combinação ideal de propriedades para a aplicação desejada.

3.1 PROPRIEDADES

Geralmente os compósitos são compostos de materiais de naturezas distintas, as fibras que podem ser contínuas ou não e estar arrançadas de diversas formas envoltas por uma matriz mais fraca. A matriz, além de distribuir as fibras confere resistência ao material e auxilia na distribuição do impacto.

Com o auxílio de compósitos, podemos produzir materiais leves, robustos, dúcteis e resistentes às altas temperaturas; ou podemos fabricar ferramentas de corte duras (e mesmo assim resistentes a choques) que iriam fraturar se fossem feitas de outros materiais. Aviões e veículos espaciais avançados dependem bastante dos compósitos, tais como polímeros reforçados com fibra de carbono. Equipamentos esportivos como bicicletas, tacos de golfe, raquetes de tênis e outros, também utilizam diferentes tipos de materiais compósitos leves e rígidos (ASKELAND; PHULÉ, 2008).

3.2 APLICAÇÕES

As possibilidades de aplicação dos materiais compósitos são inúmeras, especialmente quando se tratam de materiais com alta performance. As diferentes combinações de propriedades possíveis é o que torna materiais compósitos tão atrativos. Daniel Gay (2007) cita em seu livro algumas aplicações.

Em geral, materiais compósitos são utilizados em diversas aplicações mecânicas, em engrenagens, rolamentos, invólucros, carcaças, braços robóticos, rodas, tubos ou canos, componentes de mesa de desenho, recipiente de gás comprimido, tubos para plataformas *offshore*, etc.

No ramo da elétrica e da eletrônica, utiliza-se em isolamento para construção elétrica, suportes para circuitos disjuntores, caixas, coberturas, antenas, moinhos de vento (geralmente utilizados para captação de energia eólica). No ramo de construção, podem-se utilizar materiais compósitos para reforçar os materiais já utilizados em chaminés, moldes de concreto armado, construção de abrigos, coberturas, cúpulas, janelas, painéis de fachada, perfis. Utiliza-se com frequência em piscinas, pode-se aplicar também em divisórias, portas, banheiros e até mesmo móveis. Aplica-se em cabines telefônicas, no caso do Brasil vê-se em orelhões, em sua maioria produzidos com fibra de vidro e matriz polimérica.

No ramo de transportes rodoviários utiliza-se em componentes da lataria ou na lataria por inteiro. Além de partes específicas do motor pode-se utilizar em rodas, grades de radiador, eixos de transmissão, molas e braços de suspensão, recipientes para gás de petróleo comprimido, chassis, cabines, assentos, esquadrias, trailers, caminhões isotérmicos, petroleiros de estrada e outros.

No transporte ferroviário aplicam-se compósitos em vagões, assentos, portas, painéis interiores, sistema de ventilação, sistema de energia, etc. No transporte marinho existe uma vasta possibilidade de aplicação, podemos exemplificar os *hovercrafts* (aerobarco), botes salva-vidas, barcos de patrulha, barcos de pesca, barcos de corrida, recreação, canoas, barcos anti-minas, engrenagens, etc. Utiliza-se também em transportes por cabos, como por exemplo, cabines de teleféricos ou bondinhos.

No transporte aéreo os compósitos, especialmente os fibrosos com matriz polimérica são utilizados em larga escala, a resistência e as propriedades mecânicas com peso reduzido são atrativos para esse ramo, geram economia de combustível e

garantem propriedades não encontradas em materiais na natureza. Os materiais compósitos são utilizados tanto em aviões com passageiros quanto em planadores, helicópteros e aviões militares. Diversos componentes de aeronaves como as asas e os bordos de ataque (parte frontal da asa, a primeira parte da asa a ter contato com o ar), *ailerons* (“lemes” da asa), *radomes* (estrutura protetora para mecanismos sensíveis), estabilizadores verticais, discos de freio, eixos da transmissão, hélices, entre outros, contam com tal tecnologia de compostos.

O peso é um parâmetro crítico em alguns casos, especialmente em aplicações aeroespaciais, já que qualquer peso adicional do veículo aumenta o consumo de combustível e reduz sua autonomia. Ao se utilizarem materiais leves e ao mesmo tempo resistentes, é possível projetar veículos aeroespaciais ou terrestres de modo a minimizar o consumo de combustível (ASKELAND; PHULÉ, 2008, pg. 1).

No transporte aeroespacial onde se utiliza tecnologia de ponta, os compósitos são utilizados amplamente em partes de foguetes, ônibus espaciais, satélites, telescópio e outros. Utiliza-se em impulsionadores, bicos, reservatórios, escudos para reentrada na atmosfera, entre outros.

Nos esportes os compósitos são muito utilizados por garantir resistência com pouco peso, possibilitando o aumento da performance do atleta, garantindo também sua segurança. Vem sendo desenvolvidas raquetes para Tênis e Squash, Vara de pesca e varas utilizadas em saltos, esquis, velas, remos, pranchas de surf, patins, arco e flecha, dardos, tacos de golfe, quadros de bicicleta, bem como capacetes e equipamentos de proteção individual.

3.3 CLASSIFICAÇÃO

Como mostrado anteriormente no capítulo 2, os materiais podem ser divididos em categorias distintas conforme suas propriedades e aplicações, o mesmo acontece com os materiais compósitos, que podem ser divididos de acordo com suas aplicações e composição.

De maneira geral, um compósito deve ser considerado como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas fases constituintes, tal que é obtida melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2012).

A classificação dos materiais compósitos pode variar de acordo com o autor, utilizaremos a definição de Callister (2012). O autor classifica os materiais compósitos em 3 subcategorias: os reforçados com partículas, os estruturais e os reforçados com fibras conforme a figura 3.

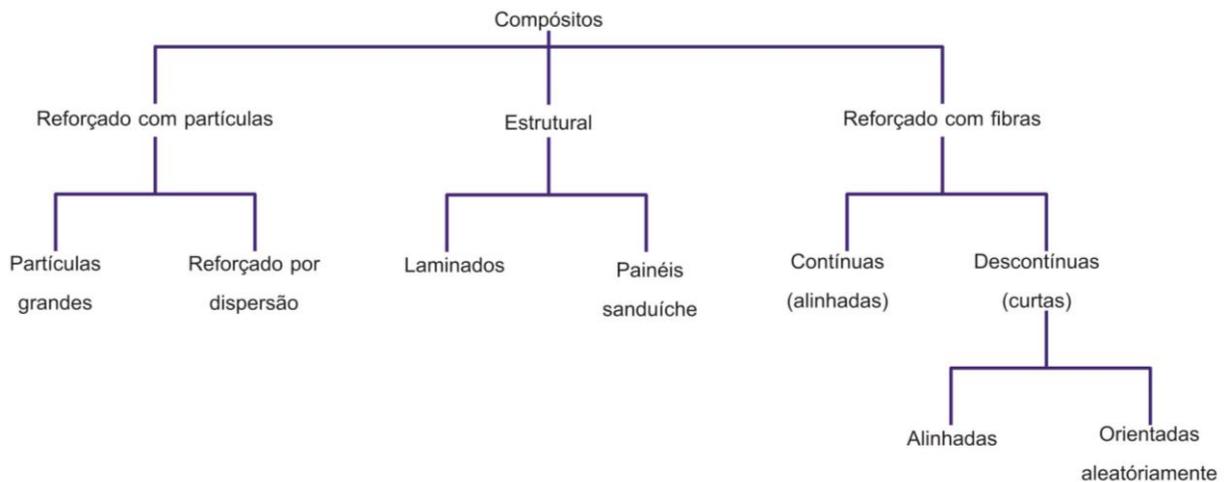


Figura 03: Esquema de classificação dos materiais compósitos segundo Callister
 Fonte: Callister (2012, p. 537).

O reforçado com partícula pode ser reforçado com partículas grandes ou reforçado por dispersão. A distinção entre eles se baseia no mecanismo de reforço ou do aumento da resistência. O termo grande é utilizado para indicar que as interações partícula-matriz ocorrem de modo mecânico e descontínuo e não em nível molecular ou atômico. Já nos reforçados por dispersão, as partículas geralmente são menores e as interações partícula-matriz que geram aumento na resistência ocorrem em nível atômico ou molecular.

O estrutural pode ser laminado ou painel sanduíche. “Um compósito laminado é composto por lâminas ou painéis bidimensionais com direção preferencial de alta resistência” (CALLISTER, 2012). “Os painéis sanduíche são projetados para serem vigas ou painéis de baixo peso, com rigidez e resistência relativamente elevada” (CALLISTER, 2012) Esses painéis consistem em duas lâminas externas resistentes coladas em um núcleo mais espesso e geralmente mais leve e com baixo módulo de elasticidade.

O compósito reforçado com fibras pode ser considerado um dos mais importantes tecnologicamente por proporcionar alta resistência com relação ao peso. De acordo com Callister (2012), quando a distribuição das fibras é uniforme é possível que se obtenha as melhores propriedades gerais dos compósitos.

De acordo com a classificação de Callister (2012), os compósitos reforçados com fibras são subdivididos entre os que utilizam fibras contínuas e alinhadas e os que utilizam fibras descontínuas e curtas. As descontínuas podem ainda ser alinhadas ou orientadas aleatoriamente enquanto as contínuas são sempre alinhadas.

3.4 FASE FIBRA

Callister (2012) ressalta que uma fibra com pequeno diâmetro é muito mais resistente que um material volumétrico, pois a probabilidade de um defeito superficial crítico diminui com a redução do volume da amostra e essa característica é vantajosa na aplicação de compósitos reforçados com fibras.

De acordo com Callister (2012) as fibras podem ser agrupadas em três classificações de acordo com o diâmetro: *whiskers*, fibras e arames. *Whiskers* estão entre os materiais mais resistentes conhecidos são monocristais com pequenas dimensões e com razão comprimento diâmetro grande, apresentando assim menor probabilidade de defeitos e com resistência excepcionalmente elevada. Apesar de tais características esse material não é comumente usado, tanto devido a dificuldade de incorporá-lo em uma matriz quando ao preço excessivamente elevado. Sua aplicação torna-se frequentemente impraticável. Exemplos de *whiskers* são geralmente fabricados com carbetto de silícop, nitreto de silício, grafite e óxido de alumínio.

Na classificação de Callister (2012) os materiais fibrosos podem ser poliméricos ou cerâmicos, possuindo um diâmetro pequeno, podem ser tanto policristalinos quanto amorfos. Exemplos de materiais fibrosos são a fibra de vidro, as Aramidas poliméricas, fibra de carbono, boro, óxido de alumínio e carbetto de silício.

Os arames, segundo Callister (2012) tem diâmetros maiores que os da fibra ou de *whiskers*, geralmente são usados como reforço de aço em pneus de automóveis, nas carcaças de foguetes fabricados por enrolamento filamentar e em mangueiras de alta pressão enroladas com arame. Usualmente são utilizados o aço, o molibidênio e o tungstênio.

3.5 FASE MATRIZ

A matriz distribui as fibras e auxilia na resistência e distribuição do impacto. Callister (2012) explica as diversas funções da fase matriz em compósitos fibrosos “Ela liga as fibras umas às outras e atua como o meio pelo qual uma tensão aplicada externamente é transmitida e distribuída para as fibras” (CALLISTER, 2012). Para compósitos reforçados com fibras a matriz pode ser tanto polimérica quanto metálica ou cerâmica que serão detalhados nos itens 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.3.

3.5.1 COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA

Compósitos de matriz polimérica consistem em uma resina polimérica como fase matriz reforçada com fibras. De acordo com Smith (1998) as principais fibras sintéticas utilizadas com matriz polimérica são a fibra de vidro, a aramida e a fibra de carbono. A fibra de vidro possui um custo menor e é utilizada para reforçar a matriz plástica (resina) de modo a obter compósitos estruturais e componentes moldados. Este compósito possui uma boa estabilidade dimensional, boa resistência a temperaturas elevadas ou baixas, bom isolamento elétrico, resistência à umidade e à corrosão e custo relativamente baixo.

As desvantagens da fibra de vidro com relação à fibra de carbono e aramida se devem principalmente à sua maior densidade e conseqüentemente peso. De acordo com Smith (1998) as fibras de vidro têm resistência à tração e módulos de elasticidade mais baixos do que as demais citadas. A versatilidade e o custo inferior fazem com que a fibra de vidro seja mais comumente usada, porém é notório que a aplicação dos filamentos difere de acordo com a necessidade do artefato a ser desenvolvido.

Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, que correspondem, respectivamente, às razões entre o limite da resistência à tração, peso específico e entre o módulo de elasticidade e peso específico. Compósitos reforçados com fibras com resistência e módulos específicos excepcionalmente elevados têm sido produzidos empregando materiais de baixo peso específico tanto para as fibras quanto para a matriz (CALLISTER, 2012).

3.5.2 COMPÓSITOS COM MATRIZ METÁLICA

A matriz de compósitos de matriz metálica é metal dúctil, são utilizadas superligas como as ligas de alumínio, titânio, cobre e magnésio. O reforço pode ser na forma de particulados, *whiskers* ou fibras, contínuas ou descontínuas. De acordo com Callister (2012) as temperaturas de operação dos compósitos de matriz metálica são maiores com relação aos de matriz polimérica, porém o custo é muito mais elevado, o que torna seu uso mais restrito.

Segundo Callister (2012) na utilização desse tipo de compósito ganha-se maior resistência de degradação com fluidos orgânicos, pode-se melhorar a resistência específica, a resistência à abrasão, resistência à fluência, a rigidez específica, a condutibilidade térmica e a estabilidade dimensional.

Compósitos de matriz metálica vêm sendo aplicados no ramo aeroespacial, como por exemplo, em telescópios, ônibus espaciais e no ramo automobilístico em partes internas específicas de motores.

3.5.3 COMPÓSITOS COM MATRIZ CERÂMICA

Materiais cerâmicos, de modo geral, possuem resistência a oxidação e à deterioração em temperaturas elevadas, porém são materiais mecanicamente frágeis, ou seja, suscetíveis a fraturas. O desenvolvimento de compósitos cerâmicos visa aumentar a tenacidade à fratura dos cerâmicos, utilizando assim, de forma mais relevante as características de resistência à oxidação e deterioração do material. Bem como os com matriz metálica, pode-se utilizar com *whiskers*, particulados ou fibras. Callister (2012) explica que a tentativa de aumentar a tenacidade consiste principalmente no impedimento ou retardamento das trincas da fase matriz pela fase fibra, *whisker* ou pelas partículas. O aumento do teor de fibras melhora a resistência e a tenacidade à fratura.

Sobre a fabricação dos compósitos com matriz cerâmica, Callister (2012) comenta que podem ser fabricados utilizando-se a técnica de prensagem a quente, prensagem isostática a quente e sinterização a partir da fase líquida.

3.6 TIPOS DE COMPÓSITOS

Existem diversos tipos de materiais compósitos, assim como subdividimos os compósitos com Matriz Polimérica, com Matriz Metálica e com Matriz Cerâmica, falaremos a seguir dos compósitos Carbono-Carbono, Híbridos, Reforçados com Fibras e Estruturais.

3.6.1 COMPÓSITOS CARBONO-CARBONO

Compósitos carbono-carbono são compostos por uma matriz de carbono pirolisado (decomposição da matéria através da queima por altas temperaturas e de ambiente desprovido de oxigênio) com fibras de carbono. As técnicas de processamento desse compósito são complexas e tecnológicas, o que eleva seu custo, e conseqüentemente, restringe seu uso. De acordo com Callister (2012), são comumente usados em aplicações que necessitam alta resistência e rigidez, mantidas em altas temperaturas (acima de 200°C), resistência à fluência e boa tenacidade à fratura. Possuem também baixos coeficientes de expansão térmica e condutividade térmica relativamente alta.

O processo de fabricação dos compósitos Carbono-Carbono é complexo e possui diversas etapas, os procedimentos preliminares se assemelham ao procedimento utilizado em fibra de carbono com matriz polimérica.

As fibras contínuas de carbono são posicionadas de acordo com o padrão bidimensional ou tridimensional desejado; essas fibras são impregnadas com uma resina polimérica líquida, frequentemente usada uma resina fenólica; na seqüência, a peça é conformada ao seu formato final e é feita a cura da resina. Nesse instante, a resina matriz é pirolisada, ou seja, convertida em carbono pelo seu aquecimento em atmosfera inerte (CALLISTER, 2012).

O uso do compósito Carbono-Carbono segundo Callister (2012) é encontrado em automóveis de alta performance, em motores de foguetes, como material de atrito em aeronaves, para moldes em processo de prensagem a quente, em componentes para turbinas de motores avançados e como escudos térmicos para reentrada na atmosfera de veículos espaciais.

3.6.2 COMPÓSITOS HÍBRIDOS

Compósitos Híbridos são constituídos por dois ou mais tipos de fibras diferentes, de forma a possibilitar o projeto de compósitos com melhores propriedades gerais em relação aos com um único tipo de fibra. Pode-se agregar características ou compensar, por exemplo, o preço de um material de alto custo empregado em uma aplicação. Segundo Callister (2012), as principais aplicações dos compósitos híbridos são em componentes estruturais de baixo peso para transportes terrestres, aquáticos e aéreos, aplicados, por exemplo, em componentes ortopédicos e artigos esportivos.

Um exemplo de aplicação é a fibra de vidro com fibra de carbono em matriz polimérica. Une-se a rigidez e resistência da fibra de carbono com pouca massa e compensa-se o seu custo elevado com a utilização da fibra de vidro. “O híbrido vidro-carbono é mais resistente e mais tenaz, tem maior resistência ao impacto e pode ser produzido com um custo menor que o dos respectivos compósitos totalmente reforçados com fibras de carbono ou fibras de vidro” (CALLISTER, 2012).

3.7 PROCESSOS DE MOLDAGEM

São muitos os processos de fabricação admissíveis para a moldagem de materiais compósitos. A maioria desses métodos pode ser automatizada, porém o custo de automatização da modelagem das peças em compósitos é muito alto e só se justifica em casos onde a quantidade de produção é muito grande.

Sendo assim, uma grande parte da produção ainda é manual e depende de mão de obra humana para ser realizada. O processo de moldagem manual torna mais

difícil o controle das peças, fazendo com que o custo de controle de produção seja alto.

Mas tanto no método automatizado quanto no método manual, o processo básico é o mesmo: as fibras são revestidas com a matriz, neste caso a matriz epóxi, que se infiltra entre os filamentos fibrosos, fixando-os no lugar. Deste modo o material enrijece e toma a forma desejada.

3.7.1 LAMINAÇÃO MANUAL

Dentre os processos conhecidos, a laminação manual é o método mais popular. A primeira etapa deste método consiste no corte da fibra no tamanho aproximado do molde para que não se tenha desperdícios. Depois do corte as fibras são colocadas sobre o molde e revestidas uniformemente com a matriz, repetindo o processo em todas as camadas (Figura 4). Cada uma das camadas deve ser observada para que a direção das fibras se intercale e atribua maior resistência ao final do processo. O excesso de resina deve ser retirado com instrumento que pode ser uma espátula e deve ser redistribuído sobre o molde com um rolo de metal. Essa etapa ajuda a evitar a formação de bolhas de ar que podem afetar as propriedades mecânicas do produto final, fragilizando o ponto com bolhas.

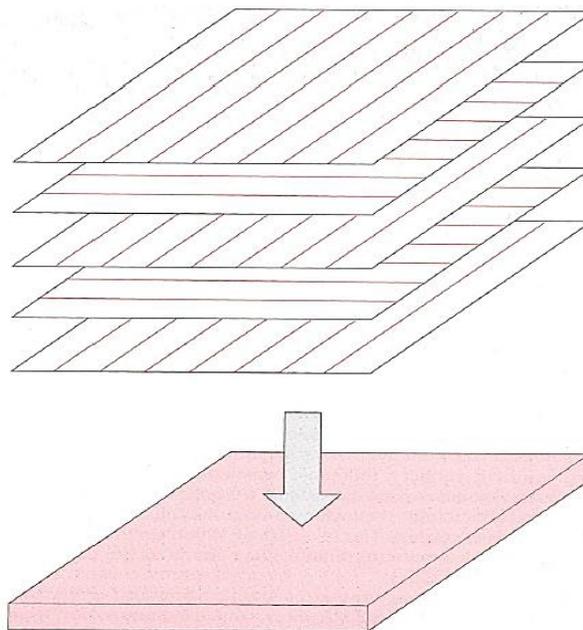


Figura 04: Laminação manual
Fonte: Callister (2013).

“Como o processo de banhar as fibras é normalmente feito a temperatura e pressão ambiente, matrizes poliméricas termoplásticas não são aplicáveis em tais casos” (AVIAÇÃO, 2013).

Este método exige que o seu realizador possua certa experiência com laminação, pois a má aplicação da resina pode ocasionar um aumento de peso desnecessário ou a fragilização de certos pontos do modelo.

3.7.2 LAMINAÇÃO A VÁCUO

A laminação a vácuo é um processo mais eficiente do que a laminação manual, pois apesar de apresentar as mesmas etapas de modelagem, nesse tipo de laminação à peça é fechada em uma espécie de saco plástico que é conectado com uma tubulação que exerce o vácuo. Quando as bombas de vácuo são ligadas o ar de dentro do saco é sugado para fora, criando uma pressão no seu interior. Essa pressão exercida pelo vácuo ajuda na compactação da peça, minimizando as bolhas e deixando a superfície mais uniforme, o que contribui com as suas propriedades mecânicas. Também ajuda na redução de peso já que o excesso de material é sugado para fora do saco, sendo armazenado em recipientes externos para não entupir a tubulação. Por estes motivos os resultados dessas peças são melhores do que os obtidos com a laminação manual (AVIAÇÃO, 2013).

A laminação a vácuo é amplamente usada pela indústria aeronáutica, no caso da produção de aeronaves experimentais e ultraleves, mas também no caso de componentes menos solicitados na grande indústria. Combinada com uma cura em autoclave, se pode obter componentes de altíssima qualidade (AVIAÇÃO, 2013).

3.7.3 LAMINAÇÃO POR INJEÇÃO

Neste processo a fibra é cortada em pedaços e todas as camadas são colocadas sobre o molde fêmea sem que seja passada resina entre elas. Depois disso, um molde macho é colocado em cima do molde fêmea, de modo a fixar o tecido no lugar onde foi colocado e restringir a entrada de ar (Figura 5).

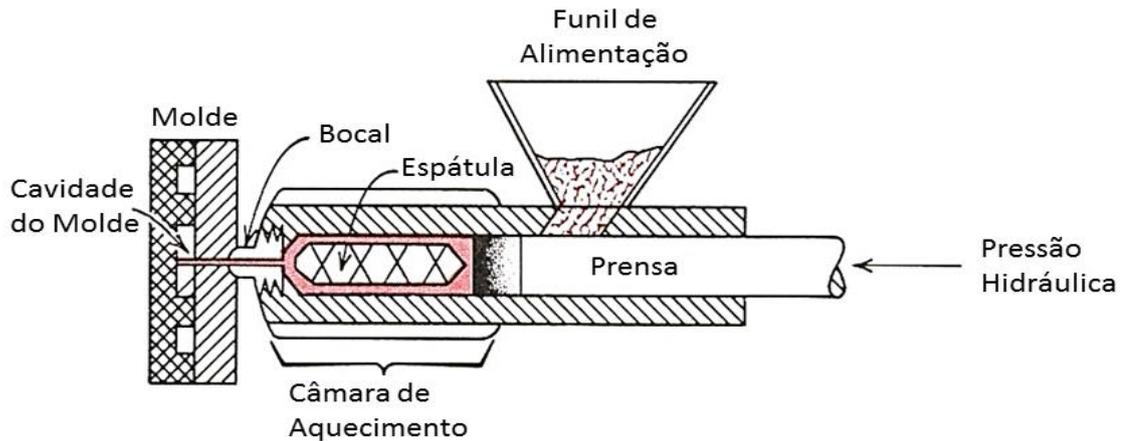


Figura 05: Processo de Injeção
Fonte: Adaptado de Callister (2013).

A resina só vai entrar no processo por injeção ou transferência RTM (*Resin Transfer Molding*) ou VRTM (*Vacuum Resin Transfer Molding*). No modo de RTM a resina é injetada por pressão através de uma válvula injetora e no modo de VRTM a resina é espalhada pelo molde através da sua sucção feita pela bomba de vácuo. Existe ainda a possibilidade de que o processo seja feito por RTM e VRTM ao mesmo tempo, nesse caso a válvula injetora e a bomba de vácuo complementam o trabalho uma da outra (AVIAÇÃO, 2013).

A transferência de resina se dá de forma lenta e gradual, permitindo que todas as partes da peça fiquem com a mesma espessura. Por isso deve ser lavado em consideração por onde a resina vai entrar e quais caminhos ela deve percorrer para que o processo se dê de forma homogênea por toda a peça. Para que a resina fique mais bem compactada pode ser adicionada uma pressão entre os moldes que também ajuda na uniformização da peça.

Existe outra forma de se realizar o processo por injeção, ela consiste na substituição do molde macho por um saco parecido com o que é usado no sistema a vácuo. Nesse método a peça é envolta pelo saco e depois disso passa pelo processo de retirada completa do ar, em seguida é injetada a resina de forma uniforme por toda a peça. Nessa etapa a bomba de vácuo auxilia na retirada do excesso de resina, que é armazenada em um recipiente externo (AVIAÇÃO, 2013).

A vantagem do método por injeção é que as fibras são dispostas no molde sem a aplicação da resina entre as camadas, isso permite um melhor manejo do tecido, pois o tempo que é gasto nesta etapa do processo pode ser controlado conforme as necessidades ou dificuldades encontradas. Já nos métodos onde as camadas de fibra

são depositadas intercaladas com resina esse tempo de manuseio é menor, pois a resina entra em processo de cura momentos após ser catalisada.

3.7.4 LAMINAÇÃO AUTOMATIZADA

Apesar de se conseguir bons resultados com os processos de laminação manuais, os processos de laminação automatizada permitem um maior controle sobre os fatores variáveis como o controle do direcionamento e alinhamento das fibras e a quantidade de resina depositada sobre cada ponto da peça. Essas variáveis fazem com que as peças saiam da fábrica com pequenas diferenças estruturais, que quase não são perceptíveis, porém quando se tem um projeto com exigências maiores, os métodos automatizados se fazem extremamente necessários.

Os métodos de laminação automatizada são mais caros se comparados com os manuais, porém são mais eficientes em termo de precisão. Na laminação automatizada são utilizados computadores e *softwares* que propiciam um melhor controle na quantidade de fibras e resinas aplicadas em cada peça.

O primeiro método automatizado que será mostrado é o “*FilamentWinding*”, que em tradução livre seria “enrolamento filamental” ou “bobinagem de filamentos”.

O enrolamento filamental é um processo onde as fibras são utilizadas em forma de fios dispostos em bobinas. Essas bobinas têm o papel de distribuir os fios de forma igualitária por toda a peça, que geralmente é um mandril (molde da parte interna) em forma cilíndrica. Depois que o número certo de camadas foi depositado no mandril, começa o processo de cura que pode ser em forno (autoclave) ou à temperatura ambiente. Depois da cura do material o mandril é retirado, deixando a peça oca (CALLISTER, 2012).

“Os filamentos podem ser imersos na resina de matriz polimérica antes do enrolamento ou a resina pode ser impregnada ao redor das fibras durante ou após o enrolamento” (ASKELAND; PHULÉ, 2008).

Este método permite a diversificação dos padrões em que a fibra é enrolada no mandril, podendo ser enrolamento helicoidal, circunferencial ou polar (Figura 6), conseguindo alcançar dessa forma características mecânicas específicas. Essa técnica proporciona também um alto grau de controle sobre a uniformidade e

orientação dos fios no enrolamento. Além disso, quando automatizado, o processo é economicamente mais viável (CALLISTER, 2012).

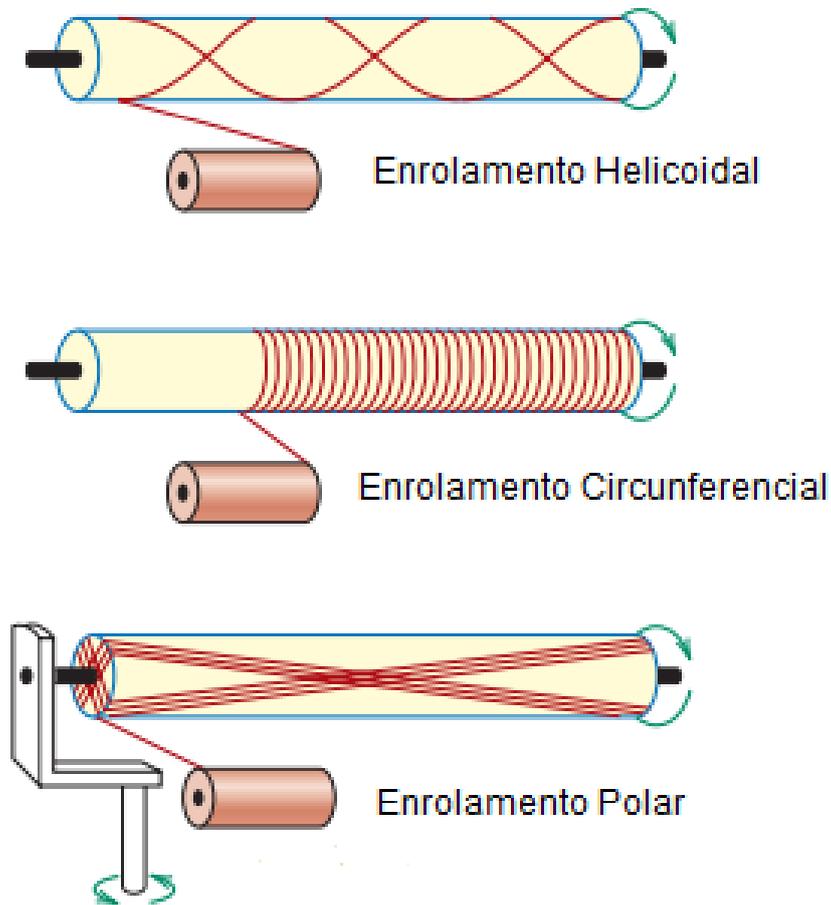


Figura 06: Representação dos tipos de enrolamento das fibras
Fonte: Fibre Composite Hybrid Materials,(1981, apud Callister, 2012).

Além do método de enrolamento filamental, existe também o método de pultrusão. Neste método as fibras são tracionadas por bobinas que as conduzem para um banho de resina polimérica, seguida pela sua moldagem, aquecimento e cura (Figura 7). Este processo gera um produto contínuo, por isso a cura da resina deve ser quase imediata, de modo que a produção não seja interrompida. Este método é utilizado na fabricação de formas pré-redefinidas, como barras, placas e tubos. Após todo o processo, o material pultrudado pode ser conformado em outros produtos, como varas de pescar, hastes de tacos de golfe e bastões de esqui (ASKELAND; PHULÉ, 2008).

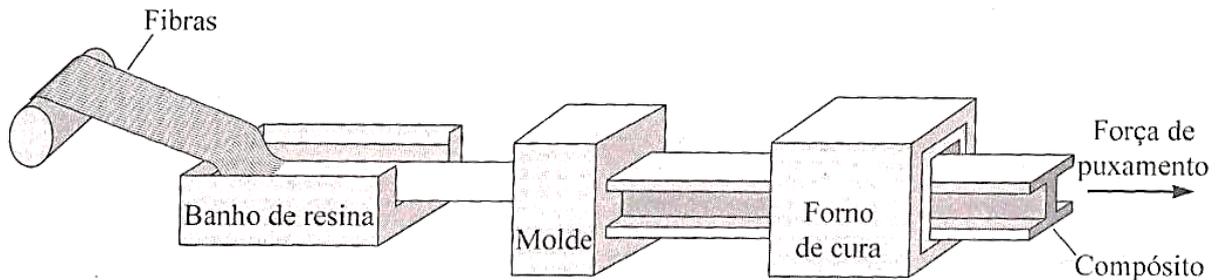


Figura 07: Detalhamento da produção por pultrusão
Fonte: Askeland e Phulé (2008).

Existe ainda outro método automatizado, a deposição ou laminação automática. Neste método são utilizadas fibras pré impregnadas com resina que são depositadas no molde por uma máquina programada para controlar a orientação e quantidade de material (AVIAÇÃO, 2013).

A precisão conseguida com as peças feitas por processo de laminação automatizada é uma de suas maiores vantagens, outro fator importante é que a produção seriada e padronização também se tornam mais fáceis. Porém a sua utilização tem um alto custo envolvido, que só se justificaria na fabricação de peças com grande tecnologia envolvida.

3.7.5 CURA E AUTOCLAVE

Após cada um dos processos de laminação citados anteriormente a fibra precisa passar por um processo de cura. A cura pode ser feita em temperatura ambiente ou acelerada por altas temperaturas.

No processo de cura à temperatura ambiente a peça é deixada em repouso até que os componentes completem seu ciclo de reação química e estabilizem. O tempo de cada reação varia conforme o tipo de matriz e catalisador utilizados. No caso de algumas matrizes epóxi é necessária a utilização de estufas ou fornos, pois a sua cura só acontece em temperaturas elevadas. Esses tipos de resinas geralmente apresentam uma melhor resistência a altas temperaturas depois de passar por esse processo.

Outra opção para a aceleração da cura são as autoclaves. A autoclave é uma máquina com um compartimento interno vedado, que permite a otimização da

retenção de calor em seu interior. Nela são colocadas as peças que acabaram de ser laminadas, ainda dentro do molde. Dentro da autoclave a pressão também pode ser controlada assim com a temperatura, dependendo dos resultados que se deseja obter para a peça em questão. Outro fator que deve ser levado em consideração é a umidade do ar, pois ela interfere no processo de cura.

Praticamente toda produção de materiais compósitos avançados, o que inclui a indústria aeroespacial, faz uso de autoclaves, que em termos de cura, constituem o que é há de mais sofisticado. (AVIAÇÃO, 2013).

4 SELEÇÃO DO MATERIAL PARA O PROJETO

Para desenvolver o artefato desse estudo, foi escolhido um compósito fibroso com matriz polimérica, a fibra de carbono utilizada com matriz de resina epoxídica. As propriedades encontradas nessa combinação são ideais para o objeto escolhido para a fabricação. O compósito fibra de carbono-epóxi possui alta resistência, rigidez, durabilidade e baixo peso.

4.1 RESINA EPÓXI

De acordo com Smith (1998), as resinas mais comumente usadas para reforçar fibra são as resinas de poliéster e epóxi. A resina poliéster possui um custo mais baixo mas tem algumas desvantagens com relação à resina epoxídica, como por exemplo maior contração após a cura. A resina epóxi possui melhores propriedades relacionadas à resistência mecânica e geralmente é utilizada com filamentos de carbono ou aramida. A matriz polimérica permite o alinhamento das fibras e contribui para a resistência ao impacto, enquanto as fibras contribuem para excelência em propriedades como a rigidez e a resistência à tração.

De acordo com Smith (1998) para a aplicação de fibra de carbono utiliza-se em grande maioria a resina epóxi, isso deve-se ao fato de esta ser uma resina com melhores propriedades relacionadas à resistência mecânica. Para aplicações com fibra de carbono também podem ser utilizadas resinas como as poliimidas, os sulfuretos de polifenileno ou polissulfonas, a combinação depende de uma série de fatores e especialmente das necessidades da aplicação a ser feita. Durante a cura da resina epóxi a retração é muito pequena, sendo uma característica vantajosa.

A sua utilização se justifica em projetos que desejam obter uma redução de peso sem que sua resistência mecânica ou térmica seja afetada. Além disso, a fibra de carbono apresenta alta resistência às intempéries e à corrosão.

4.2 A FIBRA

Segundo Gay (2007), a composição básica da fibra de carbono é a poliacrilonitrila, (PAN é a abreviatura mais comumente utilizada), ou piche como também é conhecida. O piche é um derivado do petróleo obtido a partir dos resíduos de produtos retirados do petróleo. O autor comenta que os filamentos de poliacrilonitrila “são oxidadas a temperaturas altas (300° C) e então aquecidas a mais de 1500°C em atmosfera de nitrogênio”, para então se transformarem na fibra de carbono como conhecemos.

“Em geral, as fibras de carbono são produzidas a partir do precursor PAN, através de três etapas de processamento: (1) Estabilização, (2) Carbonação e (3) Grafitização” (Figura 6) (SMITH, 1988).

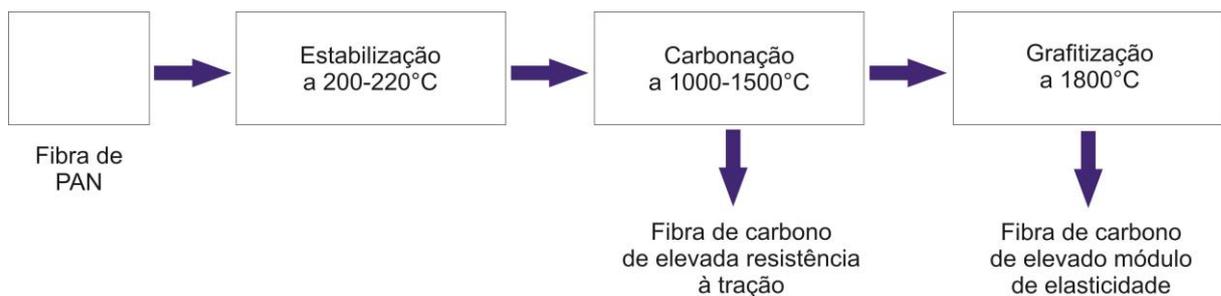


Figura 08: Etapas do processo de fabricação de fibra de carbono a partir de poliacrilonitrilo
Fonte: Smith (2012).

Na etapa de *estabilização*, as fibras de PAN são primeiro esticadas para conseguir alinhamento das redes fibrilares no interior de cada fibra, segundo o eixo respectivo: em seguida, são oxidadas ao ar a cerca de 200 a 220°C enquanto permanecem traccionadas.

A segunda etapa do fabrico das fibras de carbono de elevada resistência é a *carbonação*. Nessa etapa as fibras de PAN estabilizadas são aquecidas até que se transformam em fibras de carbono por eliminação de O, H e N da fibra do precursor. O tratamento térmico (isto é, a pirólise) para a carbonação é geralmente realizada em uma atmosfera inerte, a uma temperatura entre 1000 e 1500°C. Durante o processo de carbonação, no interior de cada fibra, formam-se fibrilas ou fitas com a estrutura do grafite, as quais fazem aumentar bastante a resistência à tração do material. A terceira etapa, ou tratamento de grafitização, é usado no caso de se desejar aumentar o módulo de elasticidades, embora tal resulte numa diminuição da resistência à tração. Durante a grafitização, realizada acima dos 1800°C, intensifica-se a orientação preferencial das cristalites de grafite no interior de cada fibra. (SMITH, 1998).

5 O PRODUTO

Para a produção do artefato escolhido em fibra de carbono com matriz epóxi, foi utilizado o método produtivo de laminação manual, apresentado no item 3.7.1, escolhido por ser o mais indicado para produção de peça única ou em baixa escala e por não impor a utilização de ferramental industrial, possibilitando a reprodução do processo por estudantes universitários.

O artefato escolhido foi um volante para carro de fórmula estudantil. Conforme vimos anteriormente, no automobilismo os materiais compósitos são amplamente utilizados por possuírem combinações de propriedades vantajosas e diminuir o peso do veículo, aumentando assim sua eficiência energética e desempenho, podendo auxiliar a desenvoltura do piloto, aumentando seu conforto. Além de uma pega ideal, o volante precisa possuir resistência por ser uma peça do veículo sujeita às forças geradas tanto pelo condutor quanto pela estrutura do automóvel, considerando a possibilidade de torção excessiva, trepidação e ondulações possíveis.

Para que o produto pudesse ter aplicabilidade e utilidade prática, foi escolhido um carro de fórmula estudantil. A Universidade Tecnológica Federal do Paraná conta com a equipe Imperador UTFPR que desenvolve esse tipo de protótipo. O Fórmula é ligado a SAE Brasil, associação do ramo da tecnologia de mobilidade, que visa unir e disseminar o conhecimento na área tanto automobilística quanto aeronáutica.

Com o intuito de incentivar a pesquisa universitária, a SAE conta com quatro programas estudantis, o Fórmula, o Baja, o Aerodesign e o Demoiselle. Todos incentivam a construção de um protótipo com apresentação de projeto e execução.

O Fórmula consiste em um carro de fórmula, com motor de combustão para correr em pista asfaltada. O foco do Fórmula é velocidade e confiabilidade, segurança é um dos principais requisitos do projeto, que possui um regulamento a ser seguido pelas equipes. Os protótipos participam de uma competição anual que atualmente conta com 24 universidades do país, envolvendo alunos de diversas áreas, principalmente engenharia mecânica, elétrica ou eletrônica, automação, curso de Design e administração. Além do projeto em si, trabalha-se com gestão de recursos humanos, financeiros e tecnológicos.

Acredita-se que desenvolver uma peça para a direção de um carro de fórmula estudantil contribui para o desenvolvimento da indústria da mobilidade, bem como dos estudantes envolvidos no processo, tornando acessível as informações para o

desenvolvimento das aplicações das propriedades do material escolhido e do processo de desenvolvimento de um produto importante para a atuação do piloto.

A SAE disponibiliza um regulamento sobre o Fórmula SAE, que contém regras relacionadas ao volante que referem-se majoritariamente a localização deste com relação a outras peças e à estrutura do carro. Um dos requisitos é que o volante esteja ligado mecanicamente com as rodas do automóvel, e instalado com um mecanismo que o impeça de sair durante a utilização normal mas que permita sua remoção com rapidez. Geralmente é necessário que o volante saia para que o piloto consiga sair do veículo, por isso, é necessário que ele seja capaz de remover mesmo utilizando luvas de segurança e com rapidez, em casos de emergência. A seção do regulamento que refere-se às especificações para o volante encontra-se nos apêndices, ao final deste trabalho (Apêndice A).

6 METODOLOGIA

De acordo com Baxter (2011), a configuração de um projeto começa com a definição do conceito escolhido e termina com o protótipo desenvolvido e testado. De forma que seja possível projetar pensando no mercado e consumidores e nos processos produtivos.

A partir disso, Baxter (2011) separa a configuração de projeto em quatro fases. Elas são: geração de ideias, Seleção de ideias, Análise das possibilidades de falha e seus efeitos e Construção e teste do protótipo. Para que seja possível então aprovar ou rejeitar o produto.

Baxter (2011) ressalta ainda que as fases de um projeto não ocorrem de forma totalmente ordenada, de forma que as etapas de projeto podem se entrelaçar, retroceder a etapas anteriores de forma a conferir um melhor resultado final. Necessita-se por exemplo, ter uma visão das futuras etapas de um projeto para melhor desenvolvimento nas primeiras, por exemplo, imaginar protótipos já nas primeiras fases de criação (Figura 09).

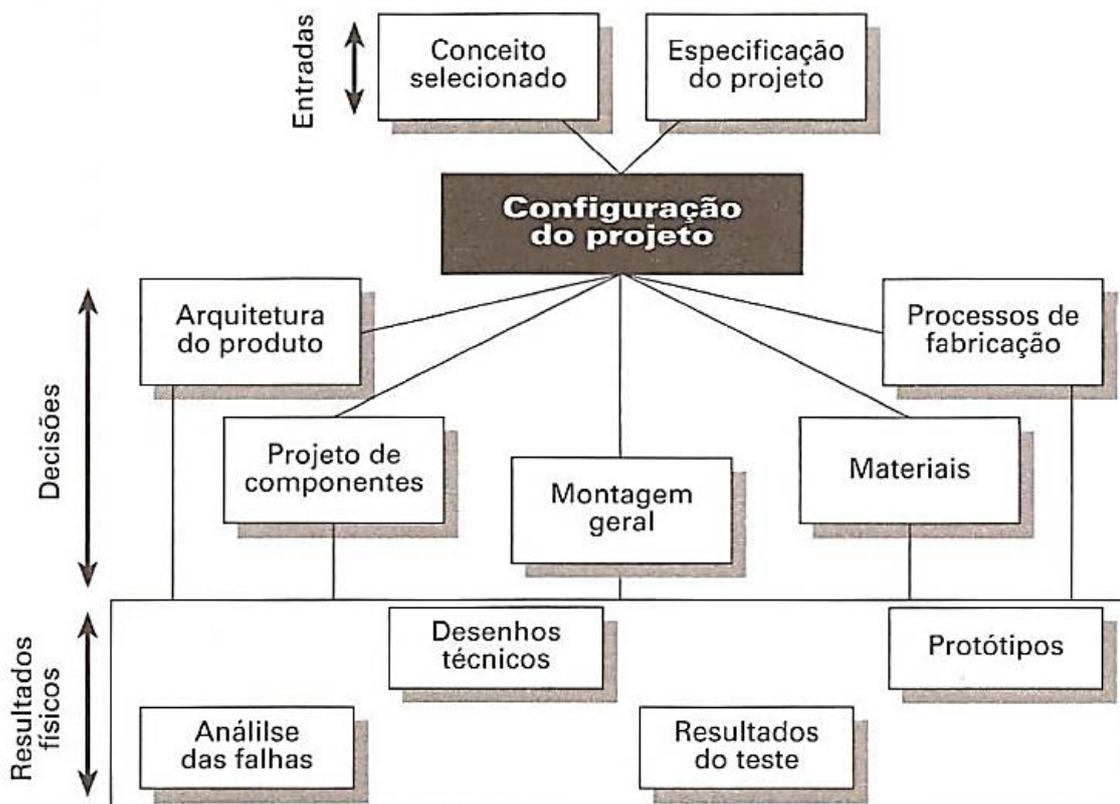


Figura 09: Entradas e principais resultados da fase de configuração de projeto
 Fonte: Baxter (2011, p. 232)

As primeiras entradas para início de projeto serão as especificações do projeto e a seleção de um conceito.

6.1 REQUISITOS DE PROJETO

Compreende-se por requisitos de projeto o escopo necessário para o alcance das metas em um produto. Parte-se primeiramente das necessidades e aspirações do público alvo, sendo filtrado pelas restrições do projeto.

Para projetar um volante para carro de Fórmula estudantil foi necessário primeiramente pesquisar o conceito de volante e sua importância na interação com a direção. Segundo a definição de Franco, Houaiss e Villar (2009), em veículos a motor, o volante é a peça que dá rumo ao veículo.

6.1.1 PÚBLICO ALVO

A partir de conhecimento prévio sobre a categoria e de conversas informais com profissionais do ramo automobilístico e participantes dos projetos de FSAE, traçou-se um perfil de requisitos supostamente necessários a um volante. A partir disso, formulou-se uma pesquisa com usuários e clientes em potencial que foi realizada através de um formulário online divulgado em grupos e fóruns de FSAE na internet (Apêndice B).

Deixou-se claro que o intuito da pesquisa era desenvolver um estudo de volantes que seria disponibilizado futuramente para as equipes e que era necessário que fosse respondido por integrantes ou ex-integrantes de equipes com experiência em projetos de direção ou em pilotagem, idealmente, com conhecimento de ambos. No total foram obtidas 21 respostas, 12 de pessoas que já pilotaram um veículo de FSAE anteriormente e 9 de pessoas que nunca pilotaram antes.

As 5 perguntas buscaram entender as prioridades das equipes de Fórmula SAE durante a fabricação ou compra de um volante. Não foi requisitado nenhum tipo de

informação pessoal, exceto a quantidade de vezes que o usuário havia pilotado um veículo Formula Sae Estudantil, conforme figura 10.

Quantas vezes você já pilotou um veículo de Fórmula SAE?

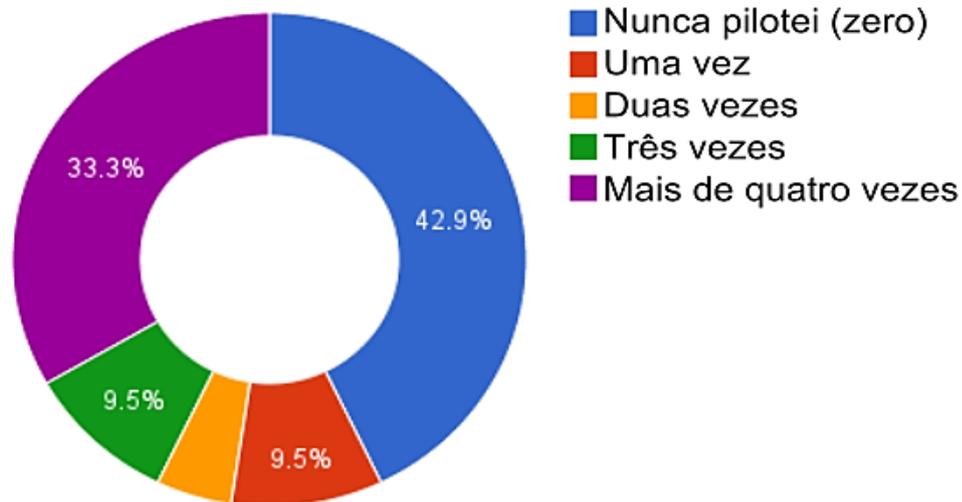


Figura 10: Gráfico - Quantas vezes você já pilotou um veículo de Fórmula SAE
 Fonte: As autoras (2014).

Em uma pergunta que possibilitava apenas uma escolha, perguntou-se qual dos requisitos listados o entrevistado julgava mais importante em um volante projetado para veículo de FSAE. Obteve-se que 38,1% acredita que segurança seja o requisito mais importante, 23,8% votaram que a ergonomia está em primeiro lugar de importância, em terceiro encontrou-se precisão de movimentos com 19% e em quarto lugar, preço baixo e alta resistência, ambos com 9,5%. Havia também a possibilidade de escolher a opção “outro”, escrevendo em seguida qual era o requisito julgado mais importante, porém não obteve-se nenhuma resposta, indicando que as opções de requisitos apresentadas contemplam as expectativas do público alvo (figura 11).

Qual dos requisitos abaixo você julga MAIS importante em um volante projetado para veículo de FSAE?

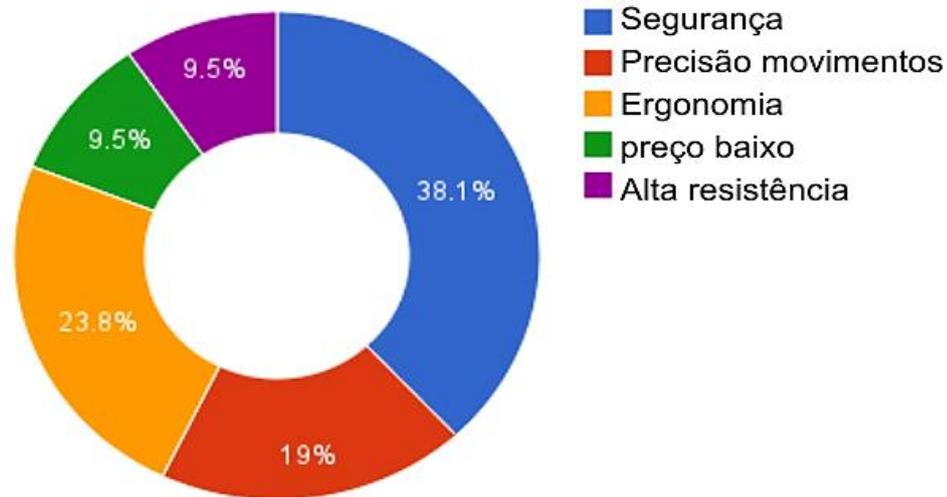


Figura 11: Gráfico - Requisitos mais importantes para um veículo de FSAE
 Fonte: As autoras (2014).

Em uma pergunta com resposta discursiva, buscou-se saber o que os usuários consideram como diferencial para um volante de FSAE. Dentre os pontos de destaque, a facilidade de fabricação e de manufaturabilidade tiveram destaque assim como a possibilidade de acoplar o painel ao volante, avisos ou informações em tempo real, possibilidade de passar marchas e adequar aos projetos de eletro-eletrônica.

Um bom *grip*, ou seja, uma boa pega com material que possibilite certa aderência à luva que o piloto utiliza e facilite o manuseio possui muita importância para os usuários entrevistados, cruzando com a informação de que a ergonomia foi indicada como um dos requisitos mais importantes para esse tipo de projeto. O baixo custo foi citado, porém mantendo o uso de materiais de alto desempenho e resistência, pode-se portanto considerar-se um baixo custo relativo aos produtos encontrados no mercado com os materiais já conhecidos pelo público. Para maiores detalhes, consulte o Apêndice B.

Decidiu-se que nesse trabalho não seria contemplado um estudo específico sobre painel ou inserção de botões, porém, serão realizados estudos para possibilitar o acoplamento de um painel desenvolvido externamente.

Em uma pergunta que permitia a escolha de mais de uma opção, perguntou-se quais os requisitos influenciariam na escolha de um volante de FSAE para sua equipe. Diferente da questão que pedia a escolha de somente um requisito, essa questão tinha o intuito de quantificar a importância de cada requisito para todos os

entrevistados. A questão também possuía a opção outros, permitindo a adição de um novo conceito.

Conforme o gráfico abaixo (Figura 12), em ordem de importância encontrou-se Ergonomia em primeiro colocado, com 16 marcações, ou seja, sendo escolhida por 76,1% dos entrevistados. Em seguida Baixo peso e Alta resistência (ambos com 14 respostas, 66,7%), Preço baixo e Precisão nos movimentos (ambos com 12 respostas, 57,2%), Material de Qualidade (11 escolhas e 52,3%), Design diferenciado (6 votos e 28,5%) e Marca conhecida (2 votos e 9,5%).

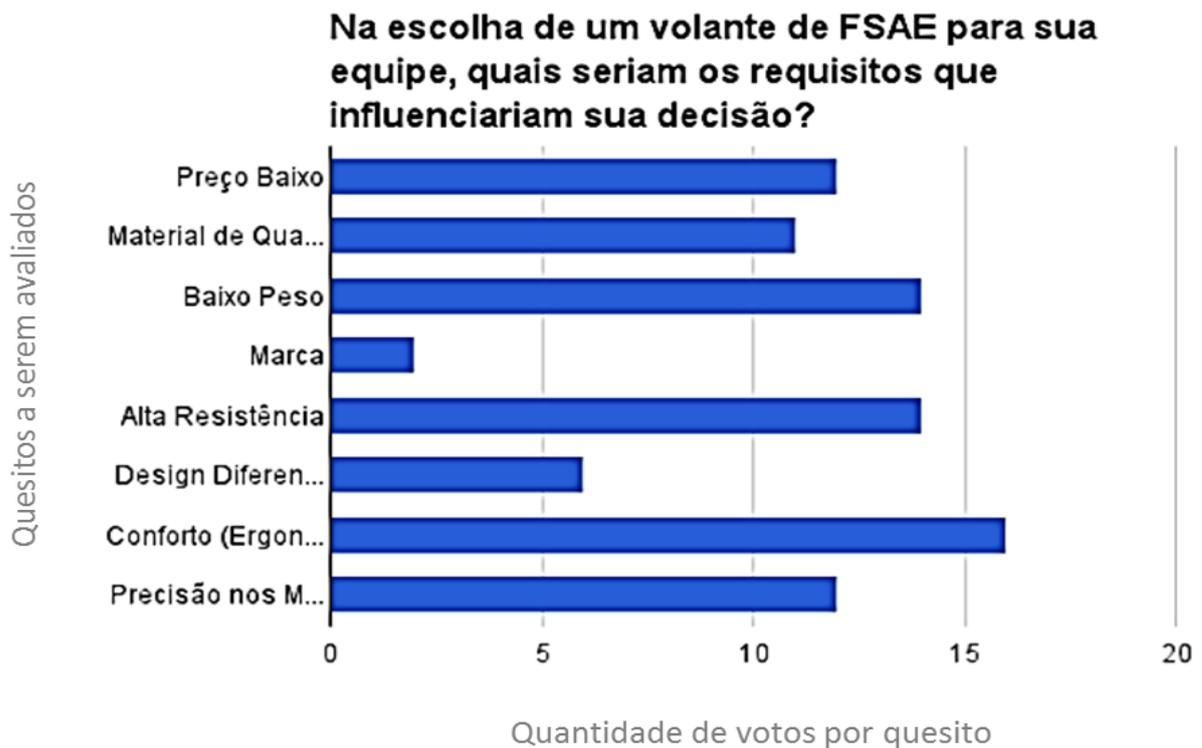


Figura 12: Gráfico: Na escolha de um volante de FSAE para sua equipe quais seriam os requisitos que influenciariam sua decisão.

Fonte: As autoras (2014).

Em resposta à pergunta “Quais as dimensões do volante utilizado pela sua equipe? ”, as respostas indicaram que os volantes variam de 200 mm à 300 mm. Esses dados foram requisitados para auxiliar na definição das medidas de base para os primeiros testes com pré-modelos de volantes.

Segundo Tilley, as medidas de volantes podem variar de 178mm à 533mm de diâmetro, por possibilitar uma variação de até 355mm, decidiu-se por considerar a referência bibliográfica em conjunto com as informações prestadas pelos membros das equipes de FSAE, de modo a afunilar a quantidade de medidas a se considerar para a fabricação de pré-modelos.

Os tamanhos dos volantes utilizados pelas equipes têm relação direta com o tamanho padrão do *cockpit*, ou seja, do espaço interno destinado ao piloto na estrutura do carro, onde encontra-se o volante ligado à barra de direção.

6.1.2 REGULAMENTO

A SAE disponibiliza para os estudantes participantes da competição da categoria de fórmula estudantil um regulamento com requisitos e restrições a ser seguido para a construção do protótipo. Além de ser avaliado em uma prova de segurança, durante a competição ocorre também uma prova de projeto, onde é requerido um projeto diferenciado e inovador, demonstrando o processo projetual e produtivo do protótipo.

Segundo o regulamento, que pode ser consultado através do site da SAE, o volante do veículo deve ter um perímetro contínuo que é aproximado da forma circular ou oval, isto é, o perfil do perímetro de fora pode ter algumas seções retas, mas nenhuma seção côncava. (SAE BRASIL, 2014 p. 54)

6.1.3 PESQUISA ERGONÔMICA

Segundo Moraes e Mont'Alvão (2009), ergonomia define-se como a ciência de utilização das forças e das capacidades humanas, ou seja, fatores humanos. Estudos de ergonomia têm como objetivo avaliar postos de trabalho humano e propor uma melhor utilização do espaço e da aplicação de força.

Utilizamos como referência para esse trabalho o livro “As medidas do homem e da mulher: fatores humanos em design” (TILLEY, 2005), para definir medidas a serem utilizadas para a fabricação dos volantes. Segundo Tilley, a medida ideal para o diâmetro total do volante está situada entre 178 e 533 milímetros. Já as medidas do rim (diâmetro da pega) pode variar de 19 milímetros o diâmetro mínimo e 28 milímetros o diâmetro máximo. Conforme citado anteriormente, utilizaremos também os dados das medidas de volantes de equipes de FSAE para as limitações.

No primeiro estudo realizado com as primeiras 06 alternativas, que serão mostradas no capítulo 6.3, testou-se medidas de diâmetro e pega e formatos de diferentes pegas utilizando amostras do percentil 1 feminino, 50 feminino e masculino e 99 masculino.

De acordo com Tilley, não existem duas pessoas com corpo exatamente iguais e o corpo sofre variações com o decorrer do tempo, podendo variar de acordo com a idade, alimentação, ambiente, gênero, origem étnica e racial. As diferenças incluem proporções do corpo, tamanho e outras características. De forma a abranger maior parte da população, decidiu-se, tanto no livro referência quanto no presente trabalho, utilizar amostra de percentil 1, que representa o menor tamanho geral, com baixa frequência na amostra ergonômica coletada, o percentil 50, mais frequente e o 99, também pouco frequente e com tamanho acima da média.

Toda a amostra dos percentis corresponde a pessoas com idade entre 20 e 65 anos. Através de dados mostrados por Tilley, sabe-se que o percentil 1 feminino corresponde a uma amostra com 1476mm de estatura e com peso aproximado de 42,2kg, o percentil 50 conta com 1626 de estatura e aproximadamente 62,5kg. O percentil 50 masculino corresponde a um homem com 1755mm de estatura e 78,4kg, enquanto o percentil 99 possui uma estatura de 1920mm com peso de 111,2kg.

Posta a dificuldade de encontrar pessoas com as exatas medidas pedidas nos livros e de acordo com orientações de profissionais em ergonomia, optamos por utilizar amostras de universitários com idade entre 18 e 25 anos e com medidas aproximadas das pedidas nos livros.

6.2 CONCEITO

Um produto direcionado a universitários que trabalham voluntariamente em um projeto, buscando gerar novos conhecimentos e procuram evoluir este projeto deve estar em concordância com os objetivos dos usuários. Portanto o produto desse trabalho parte do conceito "*Do it yourself*", sigla inglesa que em tradução livre significa "faça você mesmo". "Do-it-yourself activities are, by definition, those for which a choice must exist between doing it oneself or hiring someone else."(Hill, 2005) Em tradução livre "Atividades *Do-it-yourself* são, por definição, a escolha que deve existir entre fazer algo por si mesmo ou contratar alguém.

Em redes, fóruns e sites, o DIY (*Do it yourself*) vem crescendo com uma ideia de compartilhamento de experiências e informações. Parte-se do princípio que se uma pessoa tem conhecimento sobre fabricação de qualquer tipo de artefato, ela está apta a compartilhar sua experiência e conhecimentos através de um manual, um vídeo ou disponibilizando arquivos na internet para que outras pessoas, através de seu material também possam fazê-lo.

Compartilhar um projeto garante sua constante evolução e adaptação, fomentando a geração de ideias e o progresso do ensino e conhecimento na área estudada.

Como base para um conceito visual do produto, buscado a partir de referências em carros de fórmula e seu histórico no Brasil. Decidiu-se inspirar em um piloto brasileiro Ayrton Senna, conhecido como um ícone do automobilismo brasileiro após a conquista de 3 mundiais, procura também homenagear os 20 anos de seu falecimento no ano de 2014.

Nascido em São Paulo em 1960, Senna iniciou sua carreira no Kart aos sete anos de idade e passou por categorias como Fórmula Ford, Fórmula 2000 e Fórmula 3, categorias similares ao Formula SAE, antes de conquistar fama em sua carreira na Fórmula 1, em 1984. Durante seus 10 anos de carreira na Fórmula 1 Senna disputou 116 corridas, conquistou 65 *polepositions* (largada na primeira posição) e venceu 41 competições. Sua carreira foi interrompida por um acidente em 1994 durante o Grande Prêmio de San Marino em Ímola, Itália. Após sua morte algumas normas foram modificadas para garantir maior segurança aos pilotos.

Senna também foi escolhido por ser um grande entusiasta e promotor do ensino e da educação. Segundo Ayrton Senna, “Se a gente quiser modificar alguma coisa, é pelas crianças que devemos começar, por meio da educação”. Após sua morte, sua irmã realizou seu sonho de criar uma instituição sem fins lucrativos que promovesse educação de qualidade para crianças e jovens.

Para aplicar o conceito visual, foi criado um painel semântico (Figura 13) contendo imagens do piloto, seus pertences e algumas taças conquistadas por ele.



Figura 13: Painel Semântico – Conceito visual Ayrton Senna
 Fonte: As autoras (2014).

6.3 GERAÇÃO DE IDEIAS

Segundo a metodologia escolhida para o processo de geração de alternativas, foram considerados métodos e recursos apresentados por Baxter, os quais guiaram o procedimento de criação e projeção do volante de Fórmula SAE. O primeiro passo tomado foi a execução de um *brainstorming*, onde foram desenhadas algumas formas representativas de volantes sem que nenhuma ideia fosse restringida.

Segundo Baxter (2008, p. 66), “*brainstorming* é um termo cunhado por Alex Osborn em 1953, autor do livro *Applied Imagination* (traduzido em português como O Poder Criador da Mente), responsável pela grande difusão dos métodos de criatividade, em todos os ramos de atividades.”.

Em tradução livre, *brainstorming* significa tempestade de ideias, e é utilizado como técnica para geração de alternativas em grande quantidade, sem avaliar a

qualidade de cada ideia. Baxter aponta como uma característica do *brainstorming* a liberdade de ideação e criação de alternativas, sem que as ideias sejam previamente julgadas. Esse fato se aplica principalmente ao projeto de produtos, pois avaliar um objeto antes mesmo dele ter sido conceituado é uma tarefa difícil que requer tempo, o que nem sempre é possível. O autor também aponta que o conhecimento prévio sobre o tema trabalhado é essencial quando a equipe está bem preparada, e por isso, mesmo que não seja ideal, o julgamento das ideias torna-se inevitável.

Durante o *brainstorming* foi levado em consideração o conceito escolhido pela equipe e foi estudada a forma como os pilotos conduzem o carro durante o enduro. Para isso, foi construído um painel semântico que contemplou imagens de pilotos de Fórmula SAE e Fórmula 1 (Figura 14).



Figura 14: Painel semântico com usuários
Fonte: As autoras (2014).

Também foram considerados os modelos de volantes já existentes no mercado, que são utilizados por equipes de Fórmula SAE, Fórmula 1, Stock Car, dentre outras modalidades. Para isso foi construído um painel semântico com imagens de volantes

(Figura 15), que serviram de inspiração para a criação de modelos com algumas características essenciais presentes em todas as variações.



Figura 15: Painel semântico com modelos
Fonte: As autoras (2014).

No final do processo de *brainstorming* várias formas foram geradas (Figura 16). Algumas formas apresentavam aparência bem diferenciada e outras tinham pequenas variações como o formato e tamanho da pega ou estilo.

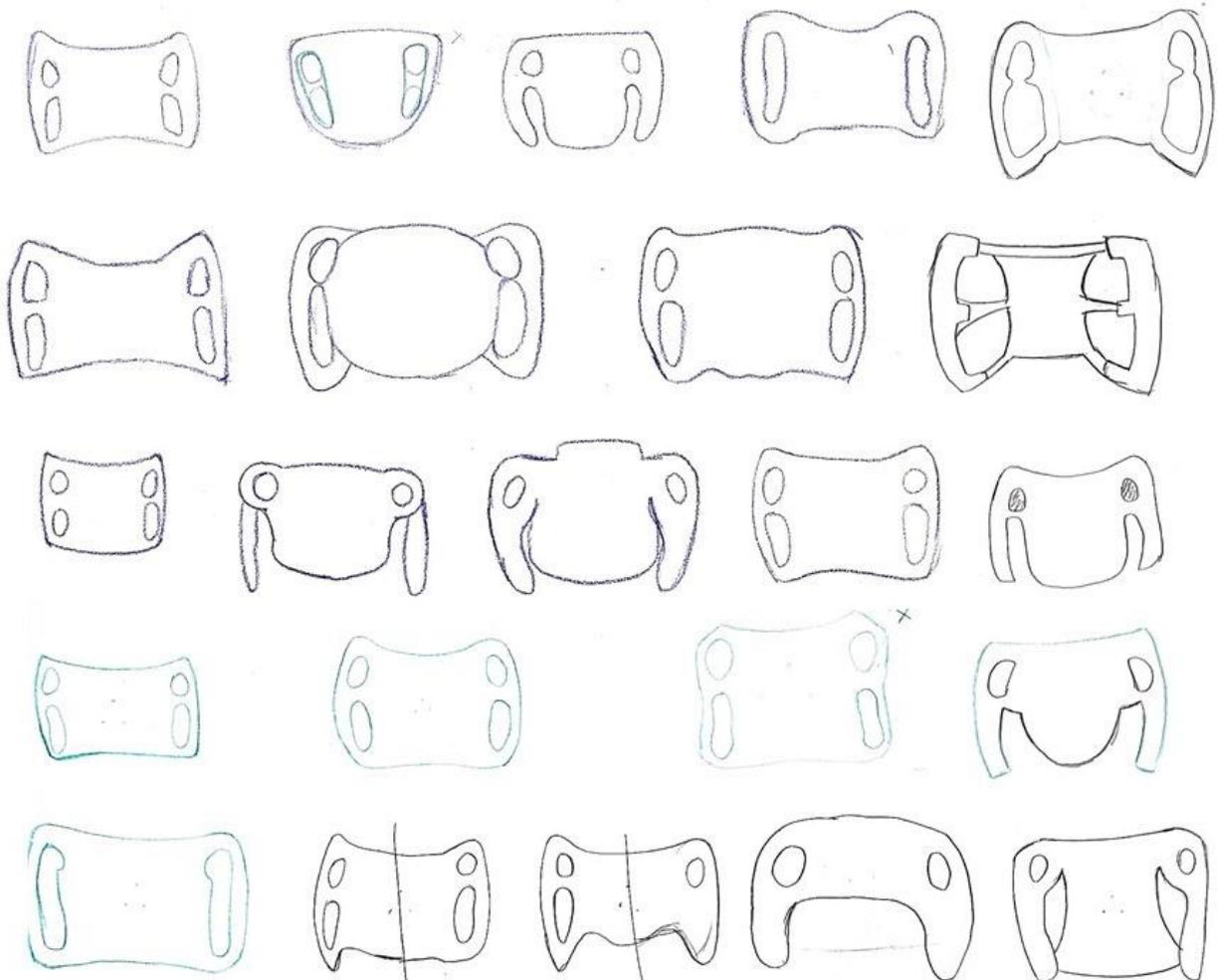


Figura 16: Esboços iniciais
Fonte: As autoras (2014).

Porém nem todas as alternativas desenvolvidas eram viáveis de se produzir, por isso foi feita uma pré-seleção das ideias, onde foram escolhidos os desenhos que apresentavam estética diferenciada, para que fosse possível avaliar os formatos mais característicos e futuramente se chegar a um modelo de volante singular.

6.4 SELEÇÃO DE IDEIAS

Baxter comenta em seu livro que a parte criativa do problema não termina com a geração de alternativas, pois no momento em que se escolhem as melhores alternativas algumas ideias podem ser aprimoradas, juntando modelos e os aperfeiçoando para chegar mais perto da solução ideal.

O procedimento mais importante no projeto de produtos é pensar em todas as possíveis soluções e escolher a melhor delas. A finalidade da geração de idéias é produzir todas as possíveis soluções. A seleção tentará escolher a melhor delas. Para isso, é necessário ter uma especificação do problema que oriente a escolha da melhor alternativa. Isso demonstra a importância da fase de preparação. (BAXTER, 2008, pag. 64)

Durante a seleção, foram avaliados os modelos que poderiam gerar um modelo final mais interessante e já nesse ponto começou-se a considerar como cada forma seria executada de acordo com o processo de produção que seria aplicado.

Após a seleção restaram seis modelos que apresentavam formas bem distintas umas das outras. Esses modelos foram desenhados primeiramente à mão (Figura 17), com a auxílio de ferramentas de desenho.

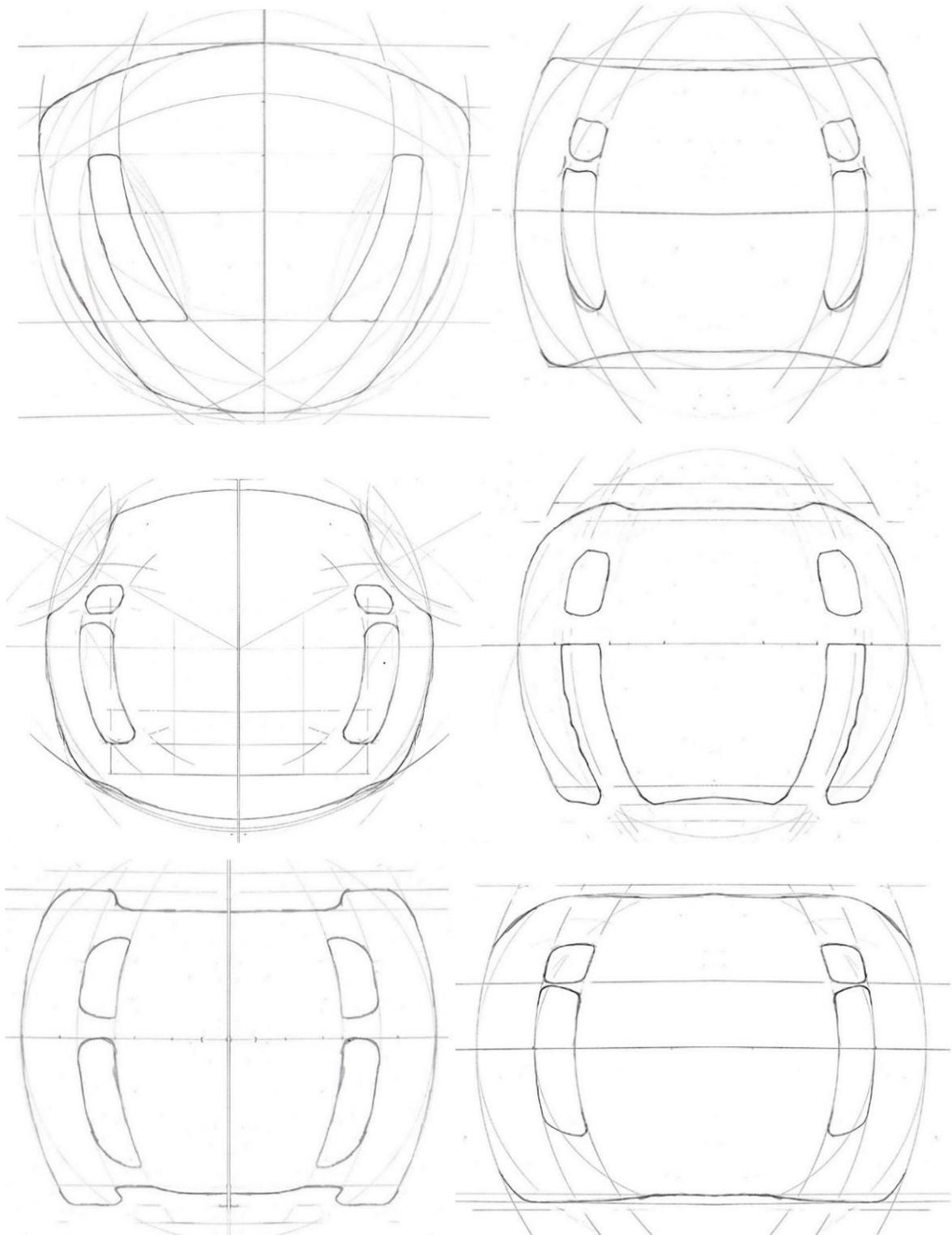


Figura 17: Alternativas selecionadas
Fonte: As autoras (2014).

Para a geração das representações mostradas acima utilizou-se como base as medidas disponíveis no livro “As medidas do homem e da mulher: fatores humanos em design” (TILLEY, 2005). Encontram-se no livro as medidas ideais para o diâmetro

total do volante (178mm à 533mm) e as medidas ideais para o diâmetro da pega (19mm à 28mm) (Figura 18).

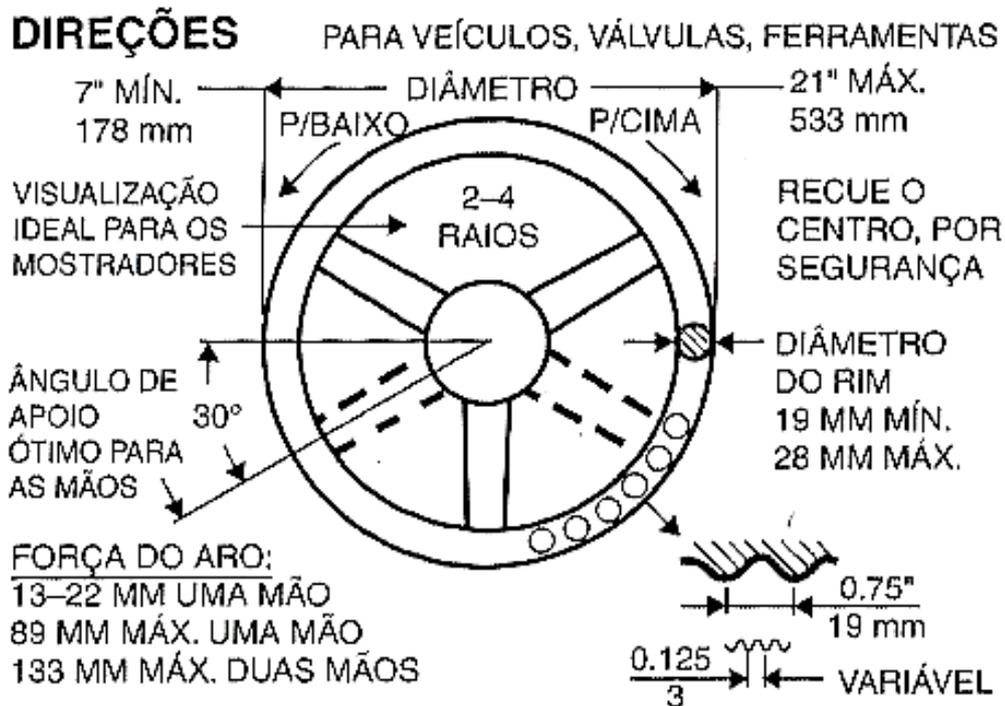


Figura 18: Dimensões a serem seguidas
Fonte: Tilley (2007, p. 82).

Também foram levadas em consideração as informações coletadas com a pesquisa realizada com o público alvo, onde obtiveram-se os dados de que o tamanho dos volantes utilizados pelas equipes variam entre 200mm à 300mm. Como já foi explicado anteriormente, as medidas oferecidas por Tilley apresentavam uma variação de 355mm entre o diâmetro mínimo e o máximo, o que proporciona uma série muito grande de variantes, por isso para as variações nos tamanhos dos modelos foram consideradas as medidas utilizadas pelas equipes, já que estas encontram-se dentro do padrão apresentado por Tilley.

Após essas considerações, os seis desenhos selecionados foram esboçados no programa Rhinoceros para obter uma maior precisão, maior simetria e para que pequenos ajustes pudessem ser feitos, tornando a forma mais agradável visualmente e mais adequada aos tamanhos ideais.

Considerando a facilidade de mudança de curvas do software, foi possível fazer variações de um mesmo modelo escolhido, de forma a chegar em uma forma diferenciada (Figura19). Os modelos foram enumerados de forma a facilitar a identificação.

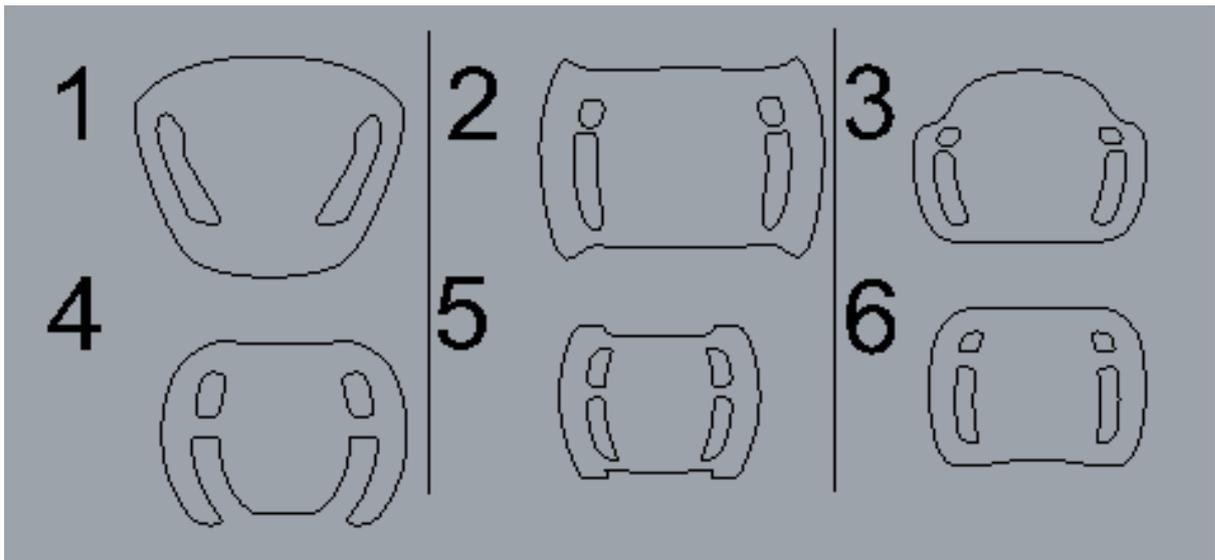


Figura 19: Alternativas selecionadas desenhadas no programa *Rhinoceros*
 Fonte: As autoras (2014).

6.5 TESTES COM MODELOS VOLUMÉTRICOS MATRIZ DE DECISÃO

Após as seis amostras de volantes terem sido construídas no programa *Rhinoceros*, foi possível converter o arquivo dos desenhos no formato “.dxf”, possibilitando a leitura do arquivo pelo software *ArtCam* (DELCAM PLC, 2007). Para que a programação fosse feita para usinagem em uma máquina fresadora CNC (controle numérico computadorizado), para que os modelos pudessem ser usinados no formato 2D (Figura 20). Utilizando uma chapa de compensado de 12 mm, fresa de topo em metal duro, de 4mm de diâmetro, num passo vertical de 6mm e passo lateral de 2mm, avanço de 2500 mm/min, foi possível usinar os modelos com um tempo de aproximadamente 3min por modelo.



Figura 20: Modelos usinados
Fonte: As autoras (2014).

Segundo o Instituto de Pesquisas Organizatórias Aplicadas, a utilização de máquinas-ferramenta de comando numérico computadorizado (CNC) é uma das maneiras mais apropriadas para se atingir um nível alto de eficiência e economia no que se refere à usinagem de materiais, além de proporcionar uma agilidade na manufatura de peças de forma complexa e de alta precisão.

Os modelos foram usinados para que fosse possível avaliar algumas características essenciais como tamanho, ergonomia da pega, aparência e confiabilidade. Para a verificação destes requisitos, foram selecionadas 4 pessoas que deveriam testar cada um dos seis modelos, numa simulação onde o volante ficaria na mesma posição em que costuma estar em um carro de fórmula SAE.

A seleção dos indivíduos ocorreu seguindo os padrões apresentados pelo livro “As medidas do homem e da mulher: fatores humanos em design” (TILLEY, 2007), onde são estipulados os percentis 1, 50 e 99 com as respectivas medidas para homens (Figura 21) e mulheres (Figura22).

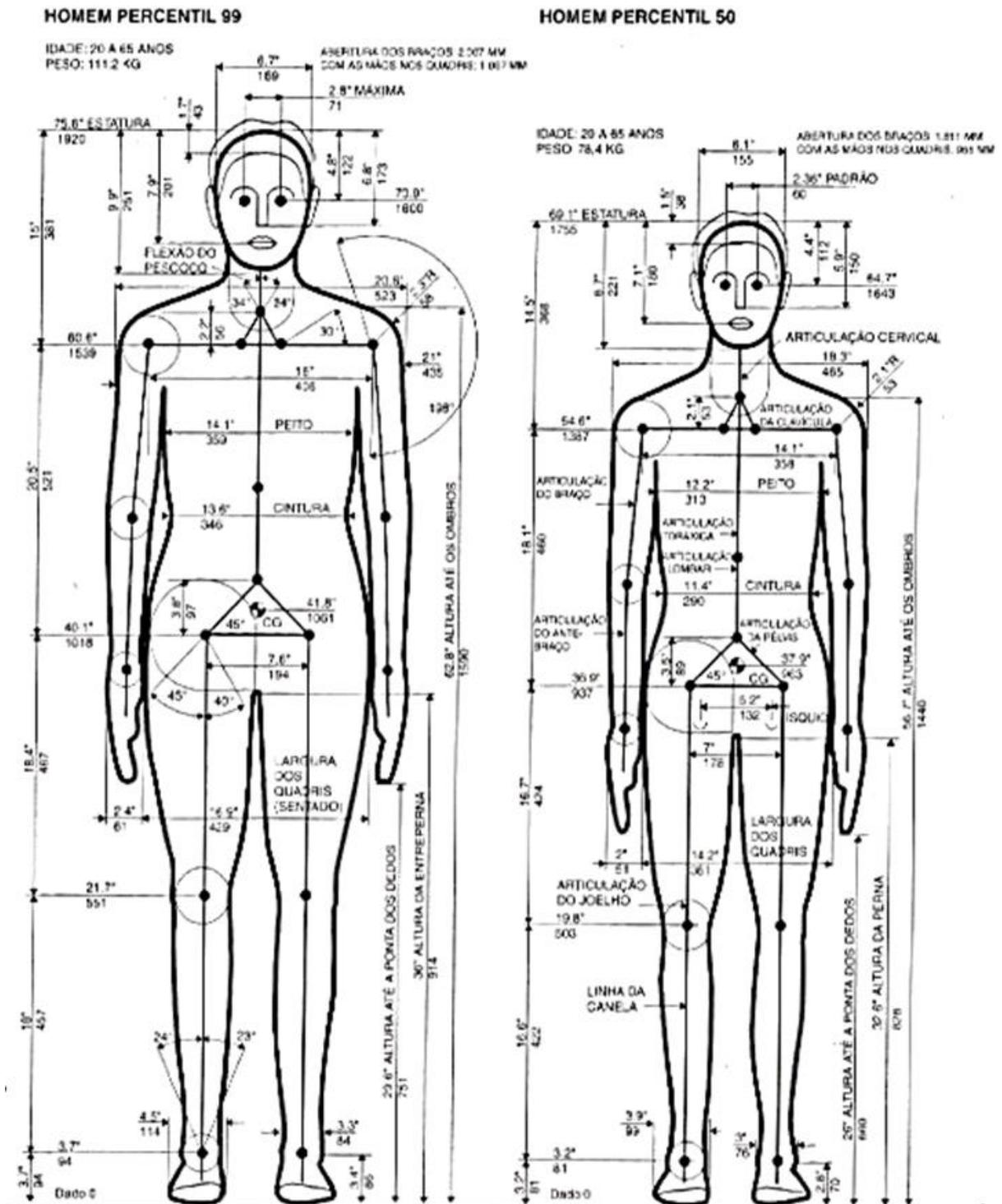


Figura 21: Percentis masculinos
Fonte: TILLEY (2007, p. 28).

Para tornar o processo de avaliação mais preciso, foi necessária a aplicação de um método que direcionasse os avaliadores de modo que suas respostas proporcionassem um nível de informações detalhadas, mas que estas fossem direcionadas aos requisitos que se desejava avaliar. Baxter apresenta uma ferramenta chamada matriz de avaliação ou matriz de decisão, que torna o processo de avaliação mais certo.

Optou-se por utilizar este método, pois ela ajudaria na definição dos pontos mais fortes de cada volante, tornando possível saber qual característica mais agradou e desagradou cada avaliador e as alterações necessárias para atingir uma forma que contemplasse da melhor maneira os requisitos propostos.

Matriz de avaliação. As alternativas são colocadas nas colunas e os critérios de seleção nas linhas da matriz. As células da matriz são preenchidas, fazendo-se a avaliação de cada alternativa em relação aos diferentes critérios (no sentido horizontal) ou, alternativamente quais são as melhores e piores alternativas em relação aos critérios (no sentido vertical). (BAXTER, 2008, pag. 64).

Abaixo (Figura 23) podemos verificar um exemplo de construção de matriz de decisão.

| Seleção de oportunidade para cadeira de segurança para bebês | | | | |
|---|---------------|--|-----------------------------------|---|
| | | Referência | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
| Critério de seleção | Peso do fator | Cinto de aperto fácil (com uma das mãos) | Menor preço e excelente segurança | Como 1, acrescentando-se brinquedos opcionais |
| Tamanho do mercado potencial | 10 | 0 | +10 | +10 |
| Lucro/unidades vendidas | 10 | 0 | -10 | +10 |
| Ciclo de vida do produto | 5 | 0 | 0 | -5 |
| Custo do desenvolvimento | 1 | 0 | +1 | -1 |
| Risco de acidente/técnico | 5 | 0 | +5 | -5 |
| Risco de aceitação/mercado | 10 | 0 | +10 | +10 |
| Uso da capacidade produtiva | 5 | 0 | -5 | -5 |
| Canais de distribuição | 7 | 0 | 0 | -7 |
| Capacidade de projeto | 3 | 0 | +3 | -3 |
| Total | 56 | 0 | +14 | +4 |

Figura 23: Exemplo de construção de uma matriz de decisão
Fonte: BAXTER (2008, p. 145)

Os testes foram realizados utilizando os modelos usinados em 2D, que foram posicionados no centro da barra de direção, de um modelo volumétrico que simulava o *cockpit* do carro de FSAE da equipe Imperador UTFPR. Os avaliadores deveriam sentar-se no banco de um modelo que simula as dimensões do *cockpit* de um carro

de fórmula estudantil, permanecendo no mesmo posicionamento em que os pilotos ficam durante as provas realizadas em competições de Fórmula SAE, segurando os modelos e avaliando-os.

Durante os testes, os avaliadores examinaram a pega de cada volante, simulando movimentos e ações que poderiam ocorrer durante a direção. Com essa simulação foi possível determinar se o tamanho do volante estava de acordo com o espaço disponível no *cockpit* e se isso não dificultava a ação de girar o volante.

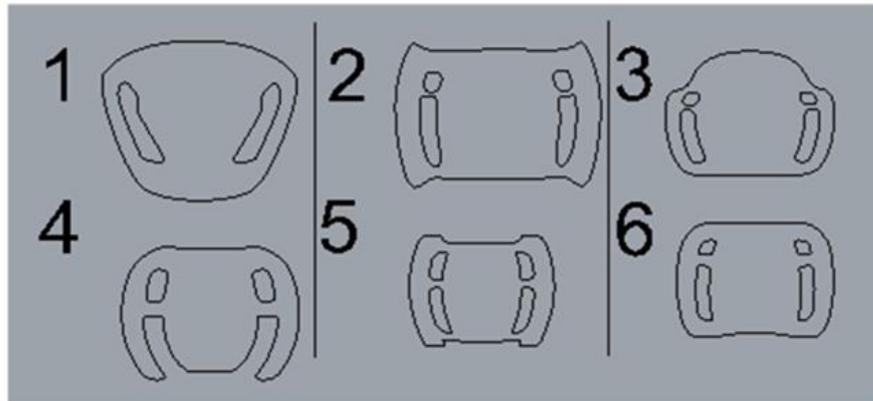
Durante os testes, os avaliadores deveriam preencher uma matriz de decisão, onde seriam avaliados os requisitos de tamanho do volante (diâmetro total), diâmetro da pega (rim), posicionamento do apoio do polegar, qualidade da pega (formato), aparência e confiabilidade (segurança passada através do modelo).

Para cada um dos requisitos citados acima foi atribuído um peso diferente, levando em consideração o gráfico “Requisitos mais importantes para um veículo de FSAE” que se encontra na página 45. Através desse gráfico foi possível perceber qual a porcentagem de respostas para cada um dos requisitos apresentados na pesquisa. Ordenando, segurança recebeu 38,1% dos votos, ergonomia 23,8% e precisão nos movimentos 19%. Na matriz de decisão, seriam conferidos, portanto, 4 para segurança, 3 pontos para ergonomia, 2 para precisão nos movimentos. Porém, o quesito Ergonomia, por ser o foco da pesquisa e ter sido o mais votado na questão “Na escolha de um volante de FSAE para sua equipe quais seriam os requisitos que influenciariam sua decisão”, recebeu 1 ponto a mais. Recebendo 4 pontos a serem distribuídos entre os requisitos.

Considerando esses dados e distribuindo os atributos que cada requisito recebeu, foi conferido o peso 2 para o tamanho do volante (diâmetro total), peso 2 para o diâmetro da pega (rim), peso 1 para o posicionamento do apoio do polegar, peso 3 para a qualidade da pega (formato). Considerando os quatro requisitos acima importantes para ergonomia e o requisito tamanho do volante importante também para a precisão nos movimentos, o diâmetro da pega importante também para segurança e a qualidade da pega importantes para os três requisitos. A confiabilidade (segurança) recebeu peso 2 e a aparência, por não ser um dos requisitos listados na pesquisa, recebeu peso 1.

Definidos os pesos de cada atributo, foi construída uma matriz de decisão (Figura 24) a qual cada avaliador preencheu com as notas indicadas, que poderiam ser ruim (1), regular (2) ou bom (3), essa numeração possuía apenas caráter ilustrativo, pois durante a compilação da pesquisa, os requisitos votados como ruins

não foram pontuados (zero), os votos de regular valiam um ponto e os votos de bom, três. No final essas notas seriam multiplicadas pelo peso de cada quesito, indicando um modelo que tivesse maior aceitação.



| | | | | |
|--|---|--------|-------|------------|
| Nome: | | | | |
| Altura: | | Idade: | Peso: | Gênero: |
| Você autoriza utilização e divulgação das informações prestadas e imagens coletadas? | | | | |
| Assinatura: | | | | |
| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | | |
| Modelo Avaliado: | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | | |
| Diâmetro da pega | | | | |
| apoio para polegar | | | | |
| Qualidade da pega | | | | |
| Aparência | | | | |
| Confiabilidade | | | | |
| Outras sugestões: | | | | |

Figura 24: Matriz de decisão
Fonte: As autoras (2014).

Todos os avaliadores assinaram uma autorização permitindo a vinculação e divulgação de suas respostas neste trabalho, bem como das imagens coletadas. As matrizes preenchidas encontram-se disponíveis no Apêndice C.

A compilação dos resultados, possibilitaria a avaliação dos tamanhos, considerando que foi utilizado um modelo volumétrico. Foi possível também ver a posição das mãos dos avaliados no momento da pega, registradas fotograficamente, dado que pode ser utilizado para a melhoria do projeto.

A soma dos requisitos avaliados (Figura 25), direcionou para 2 modelos, o número 3, com 116 pontos e o 6 com 99 pontos. Pode-se concluir que o diâmetro total ideal está entre 260 e 282mm. O diâmetro ideal da pega está em torno de 25,5mm, considerando que o modelo 3 foi o único a receber “bom” de todos os avaliadores. Os

modelos 3 e 6 serão considerados no desenvolvimento de um apoio de dedão ideal, por terem sido também escolhidos por todos como “bom”.

| Percentil 1 Feminino (Emília) | Peso de quesito | Resposta modelos 0 a 3 | | | | | | Total Modelos (Peso x Resp) | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tamanho (diâmetro total) | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0 | 6 | 2 | 6 | 6 |
| Diâmetro da pega | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 6 | 2 | 2 | 2 |
| apoio para polegar | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| Qualidade da pega | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1 | 1 | 3 | 0 | 9 | 0 | 3 | 3 |
| Aparência | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Confiabilidade | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 | 2 | 2 | 2 |
| TOTAL: | | 4 | 1 | 18 | 6 | 9 | 12 | 8 | 1 | 33 | 9 | 16 | 19 |

| Percentil 50 Masculino (Tiago) | Peso de quesito | Resposta modelos 0 a 3 | | | | | | Total Modelos (Peso x Resp) | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tamanho (diâmetro total) | 2 | 0 | 0 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 0 | 6 | 2 | 6 | 6 |
| Diâmetro da pega | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 3 | 2 | 0 | 6 | 2 | 2 | 6 |
| apoio para polegar | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 |
| Qualidade da pega | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Aparência | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| Confiabilidade | 2 | 3 | 1 | 3 | 0 | 3 | 3 | 6 | 2 | 6 | 0 | 6 | 6 |
| TOTAL: | | 7 | 1 | 14 | 6 | 12 | 16 | 13 | 2 | 25 | 10 | 21 | 27 |

| Percentil 50 Feminino (Bianca) | Peso de quesito | Resposta modelos 0 a 3 | | | | | | Total Modelos (Peso x Resp) | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tamanho (diâmetro total) | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0 | 6 | 2 | 6 | 6 |
| Diâmetro da pega | 2 | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 3 | 6 | 0 | 6 | 2 | 2 | 6 |
| apoio para polegar | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 |
| Qualidade da pega | 3 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 9 | 3 | 3 | 3 |
| Aparência | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| Confiabilidade | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 3 | 3 | 2 | 0 | 6 | 0 | 6 | 6 |
| TOTAL: | | 6 | 1 | 16 | 6 | 12 | 16 | 11 | 1 | 31 | 10 | 21 | 27 |

| Percentil 99 Masculino (Maurílio) | Peso de quesito | Resposta modelos 0 a 3 | | | | | | Total Modelos (Peso x Resp) | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Tamanho (diâmetro total) | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0 | 6 | 2 | 6 | 6 |
| Diâmetro da pega | 2 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 6 | 0 | 0 | 1 |
| apoio para polegar | 1 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 3 |
| Qualidade da pega | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 9 | 0 | 3 | 9 |
| Aparência | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 |
| Confiabilidade | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 6 |
| TOTAL: | | 4 | 2 | 14 | 3 | 8 | 14 | 7 | 3 | 27 | 4 | 14 | 26 |

| TOTAL POR MODELO | | 21 | 5 | 62 | 21 | 41 | 58 | 39 | 7 | 116 | 33 | 72 | 99 |
|------------------|--|----|---|----|----|----|----|----|---|-----|----|----|----|
|------------------|--|----|---|----|----|----|----|----|---|-----|----|----|----|

Figura 25: Resultado da pesquisa por modelo avaliado.
Fonte: As autoras (2014).

Utilizando os tamanhos ideais de diâmetro total e da pega, e apoios de polegar dos modelos avaliados com melhor qualidade de pega, acredita-se que será possível

desenvolver um modelo confiável e seguro, considerando que os modelos escolhidos também indicam grande índice de aprovação de sua confiabilidade.

6.6 MOCK-UP

Com a conclusão dos testes e avaliação das matrizes de decisão, foi possível averiguar que os volantes com maior pontuação foram os modelos de número 3 e 6 (figura 26). Conforme citado no capítulo anterior, o modelo ideal se baseará nesses dois modelos, buscando também outras melhorias que serão apresentadas no *Mock-up*.

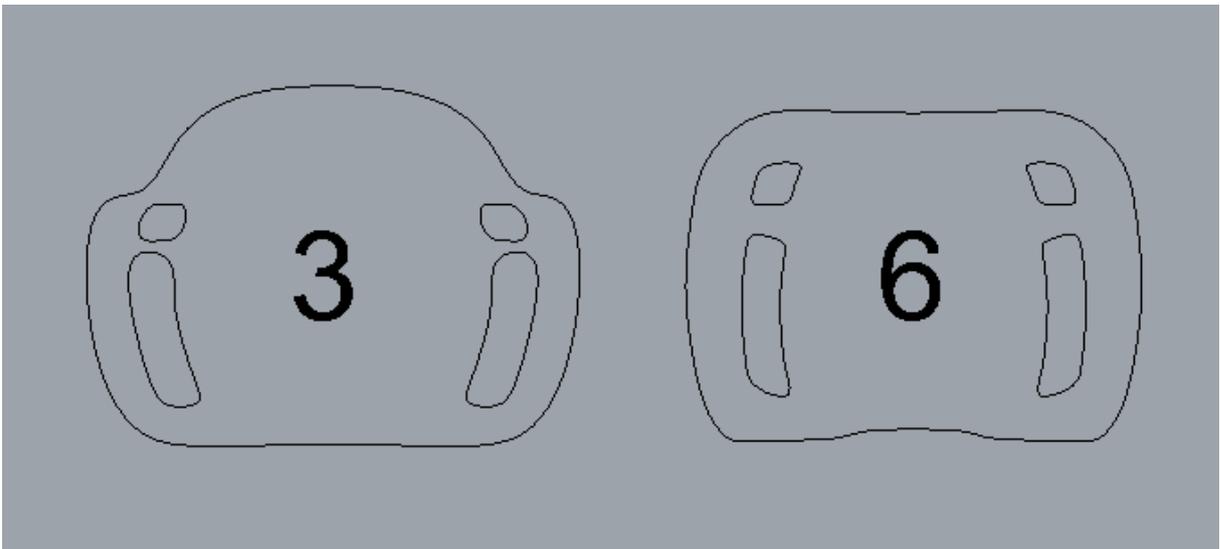


Figura 26: Modelos 3 e 6, escolhidos para realizar melhorias.
Fonte: As autoras (2014).

Mock-up é um modelo em escala real que antecede o protótipo. Ele visa testar diversos aspectos do projeto, como tamanho, ergonomia e usabilidade. Geralmente utiliza-se de um material mais barato do que o utilizado no protótipo. Segundo Baxter (2011), é basicamente a elaboração de um modelo preliminar.

Com relação à aparência, também avaliada na pesquisa, foram utilizados conhecimentos sobre proporção áurea no desenho do modelo, o número de ouro e a série Fibonacci. Segundo Baxter (2011), os seres humanos têm uma predileção por formas que são construídas de acordo com a proporção áurea, como é o caso da maioria dos elementos da natureza. Para o autor, para se atingir a forma perfeita de

um produto, este deve estar dentro da proporção apresentada pela seção áurea, fato que deve-se à nossa aptidão natural em reconhecer formas da natureza que apresentem essa proporção.

Faz sentido pensarmos que os seres humanos têm uma sensibilidade especial para identificar formas orgânicas e padrões de plantas e animais. Aprendemos a distinguir esses padrões: algumas coisas são boas para se comer e outras são perigosas, devendo ser evitadas. A habilidade para reconhecer padrões naturais seria uma qualidade inata do homem, assim como a sua habilidade para reconhecer faces humanas. Isso teria uma profunda influência na maneira de julgarmos o estilo de produtos. (BAXTER, 2008, pag. 40).

Por conta desses fatores, decidiu-se que para a construção do modelo final deveriam ser utilizados conhecimentos sobre a proporção áurea, que segundo Lidwell; Holden; Butler (2010, pag. 114) “é igual ao produto da divisão de dois segmentos, de forma que o menor (bc) esteja para o maior (ab) tanto quanto o maior (ab) está para a soma dos dois segmentos (ac), ou $bc/ab = ab/ac = 0,618$.” Podemos verificar essa definição através da Figura 27.



Figura 27: Representação das seções da proporção áurea
 Fonte: Lidwell; Holden; Butler (2010, pag. 114)

O desenvolvimento do modelo, conforme citado anteriormente, baseou-se também nas formas e dimensões dos dois modelos que melhor pontuaram na pesquisa com usuários. É importante citar que 3 dos 4 avaliadores já fizeram parte de uma equipe de Fórmula SAE e 2 deles já tiveram oportunidade de pilotar um dos modelos.

Sabendo-se que 0,618 é a razão áurea, começou-se a construir um retângulo áureo, que segue esta razão. Segundo Kimberly Elam, todos os retângulos podem ser encaixados em suas categorias, os retângulos estáticos e os retângulos dinâmicos. Os retângulos estáticos, quando divididos, não geram superfícies proporcionais e as superfícies geradas não são visualmente atraentes, pois são muito previsíveis. Já os retângulos dinâmicos, (categoria onde o retângulo áureo se encontra) quando divididos, geram superfícies harmoniosas e proporcionais, que são mais interessantes visualmente.

Elam (2010) explica que “o processo de divisão de um retângulo dinâmico em uma série de subdivisões harmônicas é muito simples. Diagonais são traçadas entre vértices opostos e então uma rede de linhas paralelas e perpendiculares é construída a partir dos lados e das diagonais.” Abaixo podemos ver um exemplo de subdivisões de retângulos dinâmicos (Figura 28).

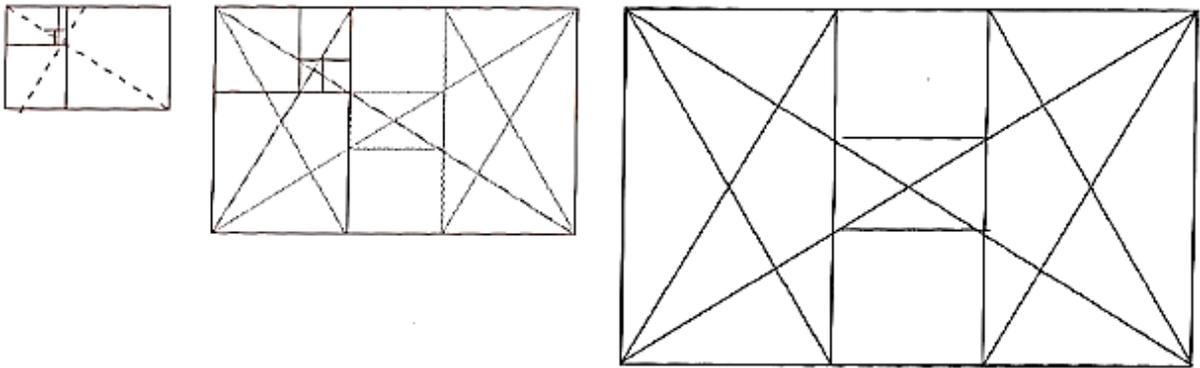


Figura 28: Exemplo de divisão de um retângulo dinâmico
 Fonte: ELAM (2010, pag 32).

Para chegar no novo modelo utilizou-se o método de Baxter (2011), o MESCRAI, suas siglas significam Modifique, Elimine, Substitua, Combine, Rearranje, Adapte, Inverta. Baseando-se nos dois modelos iniciais, enumerados como 3 e 6, modificou-se inicialmente o tamanho e as proporções gerais, encaixando-a no retângulo áureo.

Baseando-se nessa forma, iniciou-se os desenhos da alternativa final do volante. A alternativa foi desenhada dentro do retângulo áureo e depois disso foi ajustada para que se adequasse às divisões do retângulo dinâmico (figura 29).

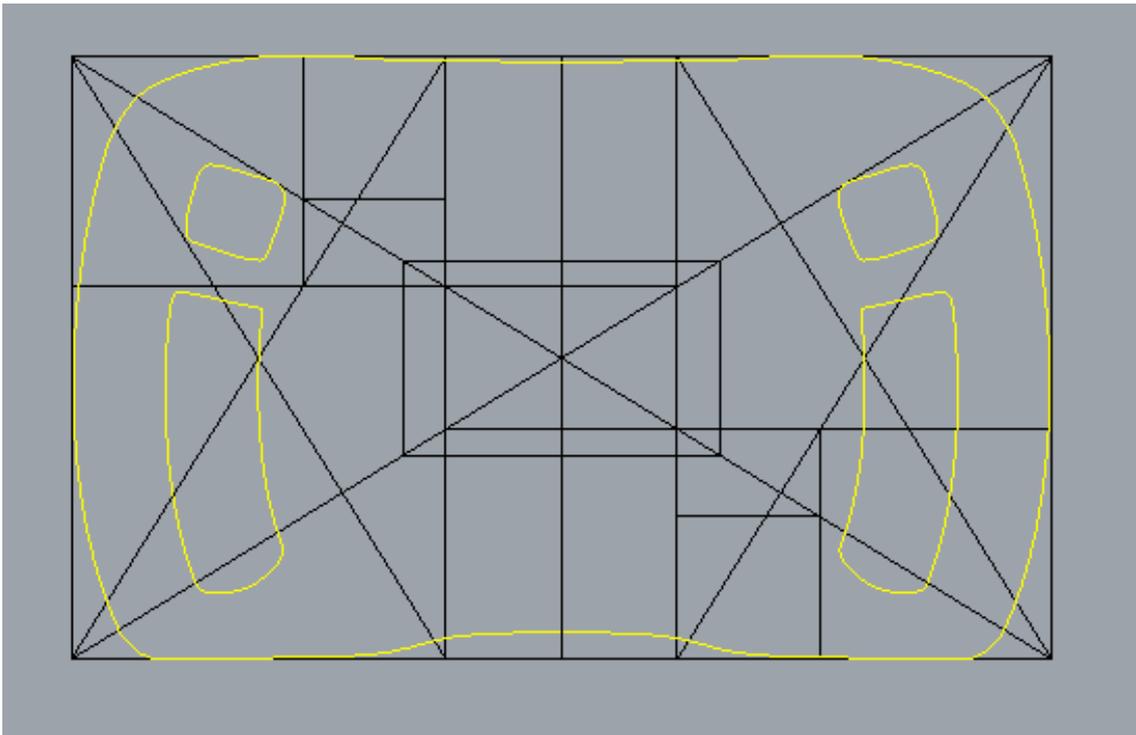


Figura 29: Início do desenvolvimento de modelo através do método de MESCRAI
Fonte: As autoras (2014).

O modelo inicial da Figura 28, conta com 270mm de diâmetro total, a pega possui 26mm e é um “*offset*”, uma cópia da pega externa, tornando a pega mais simétrica. Observando as imagens dos usuários em teste (Figura 30 e 31), foi possível perceber que o apoio do polegar não precisava ser completo e decidiu-se por testar essa possibilidade. Na continuação do estudo (Figura 32) o apoio para polegar foi diminuído, tornando o espaço da pega uma única fenda.



Figura 30: Teste de modelo 06
Fonte: As autoras (2014).

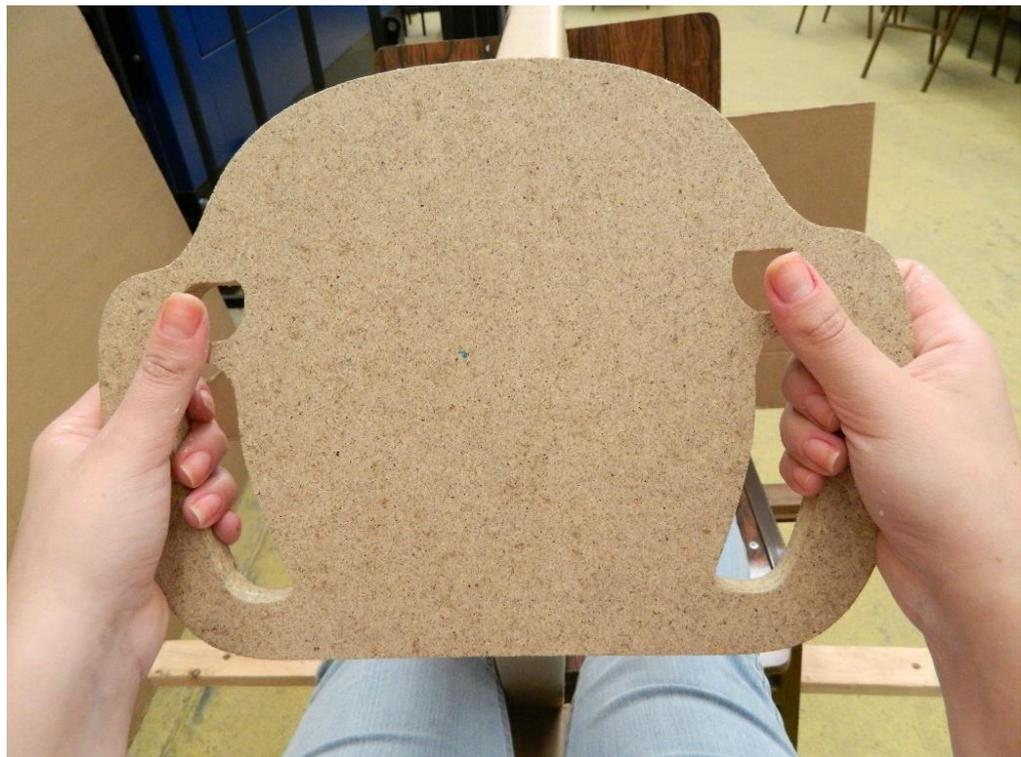


Figura 31: Teste de modelo 03
Fonte: As autoras (2014).

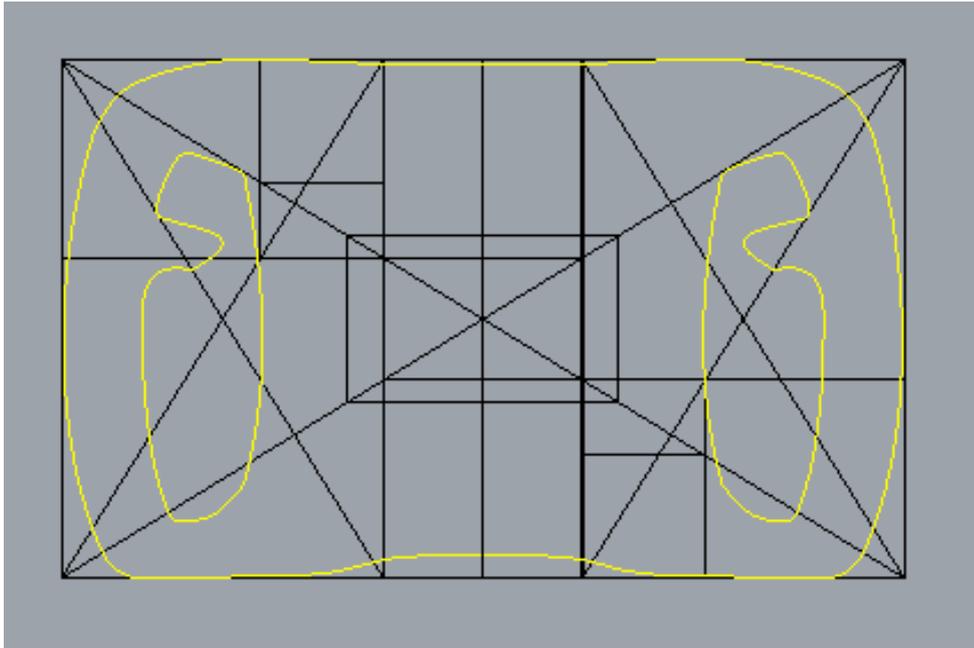


Figura 32: Modelo com pega única
Fonte: As autoras (2014).

Dando seqüência ao MESCRAI, foram combinadas as formas de borda dos modelos 03 e 06, as curvas foram rearranjadas conforme o modelo 3, adicionando a curva na parte superior e tornando a inferior reta (Figura 33). Aplicou-se neste mesmo modelo, a seqüência de círculos da série de Fibonacci, bem como adequações ao retângulo áureo.

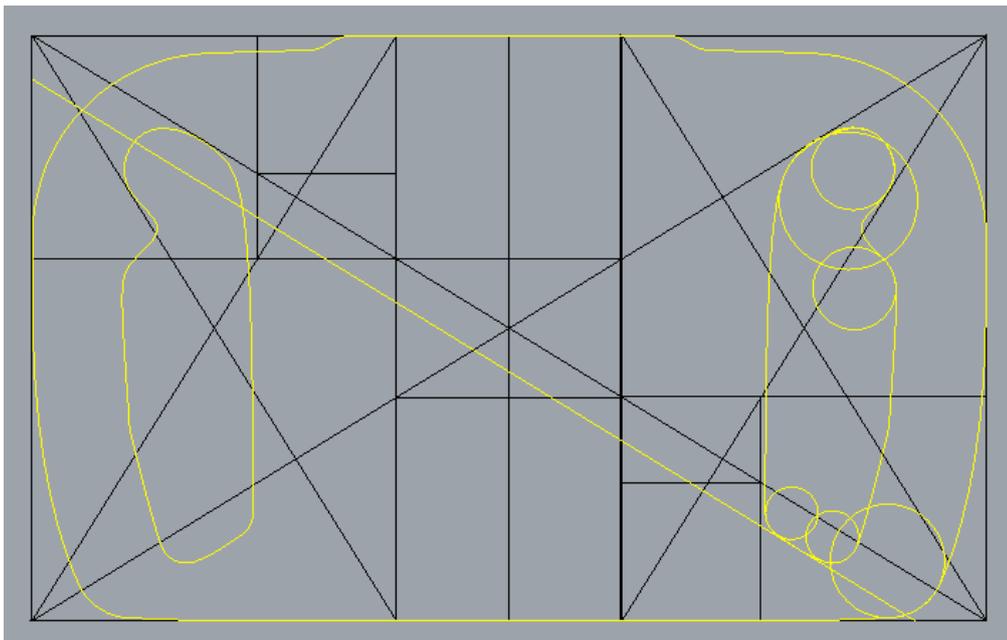


Figura 33: Modelo com aplicação da seqüência Fibonacci
Fonte: As autoras (2014)

6.6.1 PRODUÇÃO DO MOCK-UP

A produção do Mock-up foi realizada a partir dos estudos citados no tópico anterior, onde foi gerado um novo modelo, com pega diferenciada com uma cavidade única para cada pega, utilizando proporção áurea e parâmetros ergonômicos, e as medidas tidas como ideais. O modelo 7 que foi redesenhado a partir dos modelos 3 e 6 (Figura 34) foi usinado em 2D, utilizando uma chapa de 12mm de aglomerado (Figura 35) para teste de parâmetros gerais conforme os modelos volumétricos testados.

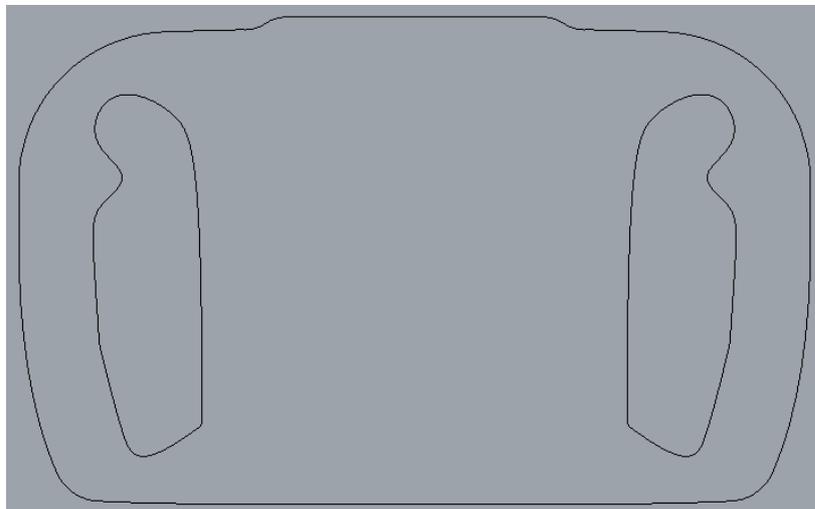


Figura 34: Desenhos 2D do mock-up – “Modelo 7”
Fonte: As autoras (2014).



Figura 35: Modelo volumétrico
Fonte: As autoras (2014).

Para a usinagem em 2D, foi utilizada a mesma chapa de aglomerado dos modelos volumétricos anteriores, o mesmo processo de conversão de arquivo, mesma fresa e configurações de programação, fazendo com que o tempo de usinagem também fosse próximo aos 3 minutos.

O modelo 2D foi testado pelos usuários novamente (Figura 36 e 37) gerando resultados satisfatórios quanto a sua forma geral, sofrendo apenas pequenas alterações para a geração do *mock-up* em 3D.



Figura 36: Teste de modelo 7 por voluntário do percentil 99 masculino

Fonte: As autoras (2014).

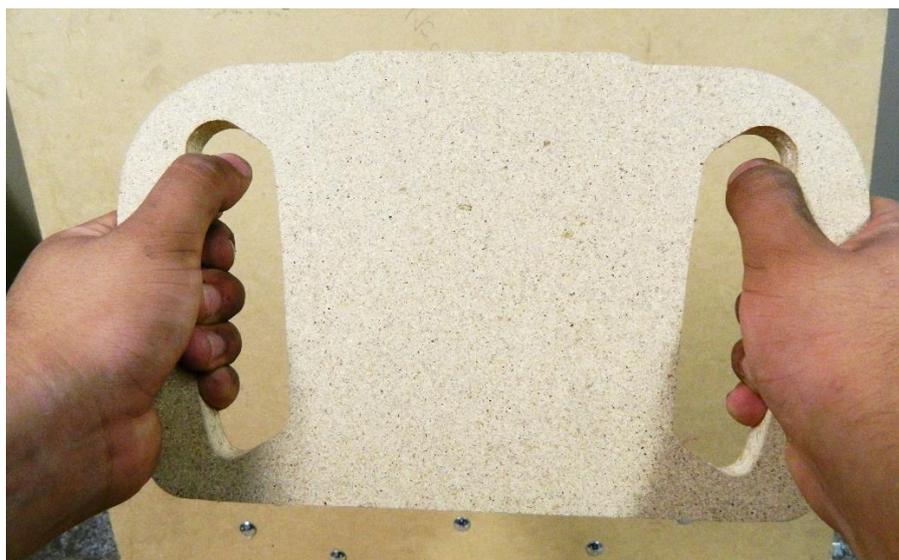


Figura 37: Teste de modelo 7 por voluntário do percentil 50 masculino

Fonte: As autoras (2014).

Partindo-se do modelo 2D iniciou-se o processo de modelagem em 3D. Inicialmente tentou-se utiliza o *software Rhinoceros* (ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, 2010), porém, devido à dificuldade para formar um sólido com superfície única, optou-se por utilizar o *software SolidWorks* (DASSAULT SYSTÈMES, 2010).

6.6.1.1 MODELAGEM EM 3D

Após exportar o desenho em 2D (figura 35) na extensão “.dxf” para o *software* utilizado *SolidWorks* (DASSAULT SYSTÈMES, 2010), o 2D foi “extrudado”, ou seja, foi feito um ressalto em plano médio de 26mm de espessura. Após a extrusão foram feitos raios externos da pega e a parte inferior do volante com 12mm de raio (comando *fillet*). Nas pegas internas e na aresta externa foram feitos raios de 3,5, usando o mesmo comando, *fillet*.

Adicionou-se um rebaixo retangular de 2mm de profundidade e 100x75mm para possibilitar o posterior encaixe de componentes eletrônicos. O resultado da modelagem pode ser observado na figura abaixo (Figuras 38). As vistas ortográficas técnicas se encontram no apêndice D, e a modelagem em 3D está disponível em uma mídia que acompanha este trabalho.

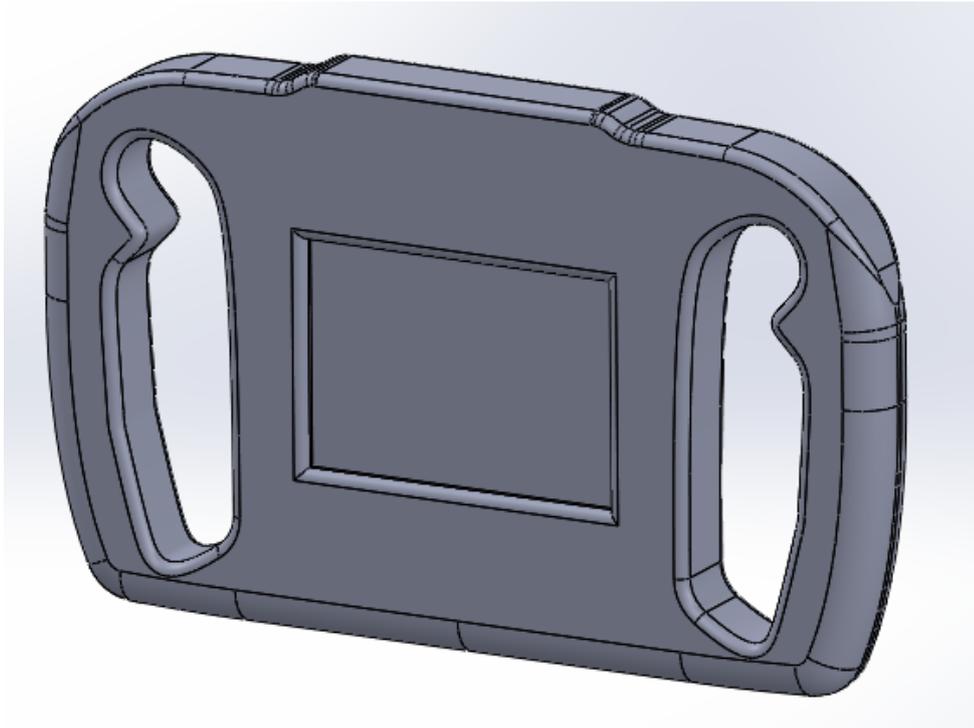


Figura 38: Perspectiva de Modelagem 3D
Fonte: As autoras (2014).

No mesmo programa *SolidWorks* (DASSAULT SYSTÈMES, 2010) existe outro *software* integrado, o *Photoview* que permite aplicar o material, fibra de carbono, e simular o modelo real de forma rápida (Figura 39).



Figura 39: Modelo renderizado com material aplicado
Fonte: As autoras (2014).

6.6.1.2 PROGRAMAÇÃO PARA USINAGEM 3D

Após a finalização do modelo, na extensão “.SLDPRT” gerada pelo *SolidWorks* (DASSAULT SYSTÈMES, 2010), foi necessário convertê-lo para “.3ds”, extensão necessária para que o *software ArtCam Pro* (DELCAM PLC, 2007) consiga ler e transferir os comandos para a fresadora CNC. Para realizar tal conversão, o modelo foi aberto no *Rhinoceros* (ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, 2010) (é necessário abrir um documento em branco, preferencialmente configurado em milímetros, e então arrastar o ícone do arquivo “.SLDPRT” e escolher abrir na caixa de diálogo que aparecerá). Após abrir o modelo 3D, é necessário escolher a opção “Arquivo” na barra de comandos superior e “Salvar como” ou “exportar” e salvar escolhendo a extensão “.3ds”.

A programação em 3D foi realizada no *software ArtCam Pro* (DELCAM PLC, 2007). Por ser um modelo com acabamento em 3D dos dois lados, foi necessário programar em duas metades e girar a matéria prima após a primeira etapa.

A matéria prima escolhida foi o PU (Poliuretano) de alta densidade, por possibilitar a usinagem em 3D na fresadora disponível com um bom acabamento e assim, mais próximos dos detalhes requeridos.

O tempo de usinagem foi de 60 minutos no primeiro lado, sendo 10 de desbaste e retirada do material excedente (Figura 40), considerando que a chapa possuía 40mm e o modelo 26mm de espessura e 50 minutos de usinagem do modelo, sendo 10 de desbaste e 40 de acabamento. Na base onde a matéria prima foi fixada foram feitas marcações de posição, para garantir a usinagem no mesmo local quando o material fosse virado. (Figura 41 e 42)

Para o desbaste foi utilizada uma fresa esférica de 8mm de diâmetro de metal duro (MD). Programada para avanço de 2.500 milímetros por minuto, com passo vertical de 5mm e Passo lateral de 3,5mm. Para o acabamento, utilizou-se avanço de 2.000 mm/min, com passo vertical de 5mm e passo lateral de 1mm.

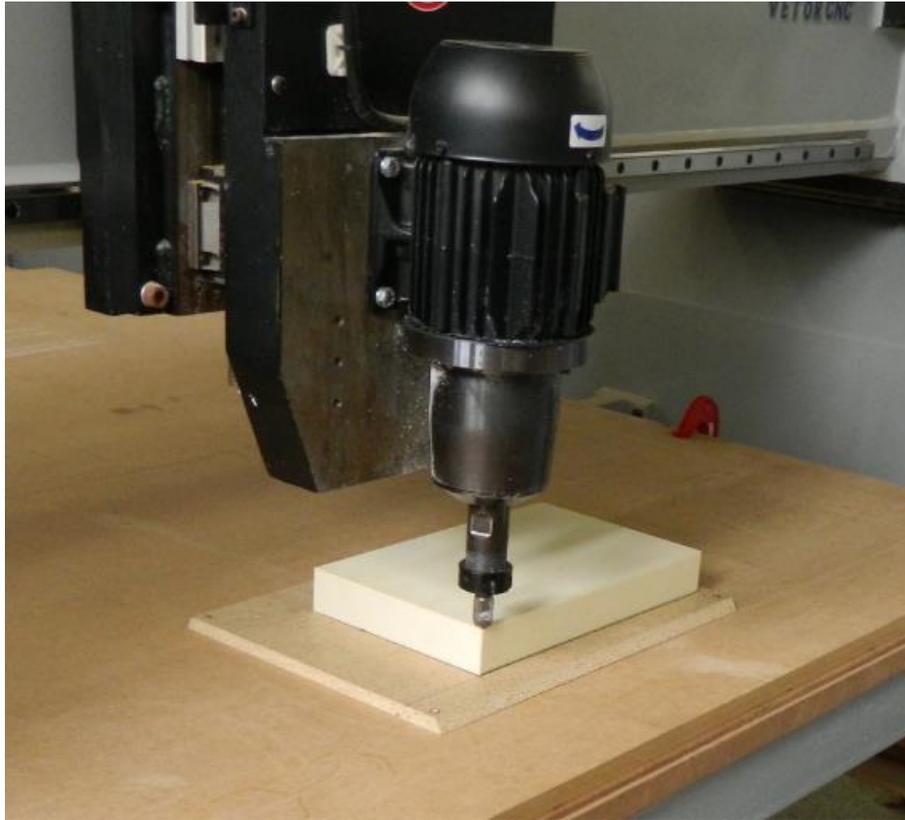


Figura 40: Início de desbaste da chapa de PU
Fonte: As autoras (2014).



Figura 41: Usinagem do primeiro lado do mock-up
Fonte: As autoras (2014).



Figura 42: Usinagem do segundo lado do mock-up
Fonte: As autoras (2014).

Após a usinagem foram necessários apenas pequenos acabamentos com uma lixa de gramatura 240 para retirar rebarbas e marcas da fresa. O modelo saiu da máquina praticamente pronto para os testes (Figura 43).



Figura 43: Mock-up pronto
Fonte: As autoras (2014).

6.6.2 TESTE DO MOCK-UP

Depois de pronto, os testes com *mock-up* foram feitos com amostra do percentil 1 feminino (Figura 44) e 99 masculino (Figura 45). Durante os testes os avaliadores se mostraram satisfeitos com o resultado e a matriz utilizada anteriormente recebeu “bom” em todos os quesitos perguntados de ambos os entrevistados. Portanto, concluiu-se que o modelo estava apto para prototipagem.



Figura 44: Teste de Mock-up com percentil 1 feminino
Fonte: As autoras (2014).



Figura 45: Teste de Mock-up com percentil 99 masculino
Fonte: As autoras (2014).

7 PROTÓTIPO

Após os testes com o *mock-up*, foi possível averiguar que o modelo estava satisfatório, necessitando poucos ajustes para a confecção do protótipo. O protótipo é uma versão de teste do produto final.

Segundo Ahrens et al. (2007), a definição de protótipo enquadra-se como “aquele que implementa a maioria, se não todos, os atributos de um componente individualmente ou de um produto como um todo (em escala real e geralmente uma versão completamente operacional do produto).” É uma etapa necessária para avaliação dos diversos requisitos do produto, que visa testá-lo antes do planejamento de produção definitivo.

7.1 MODELO 3D

O modelo 3D utilizado foi o mesmo da construção do *mock-up*. Para confeccionar o molde foi necessário dividir o modelo 3D e transformá-lo em um rebaixo ao invés de um relevo e encaixá-lo na chapa de PU que seria utilizada (Figura 46). Esse procedimento também foi realizado no *SolidWorks* (DASSAULT SYSTÈMES, 2010) sendo convertido em “.3ds” para usinagem na Fresadora CNC com os mesmos procedimentos dos documentos anteriores.

Para facilitar o manuseio, foi deixada uma margem de segurança, ou seja, após a divisão, a borda externa da metade do modelo foi “extrudada”, aumentada para cima, em 5 milímetros. Essa pequena folga foi deixada para facilitar os acabamentos, pois após a laminação é necessário fazer um recorte nas fibras antes de fazer os acabamentos finais.

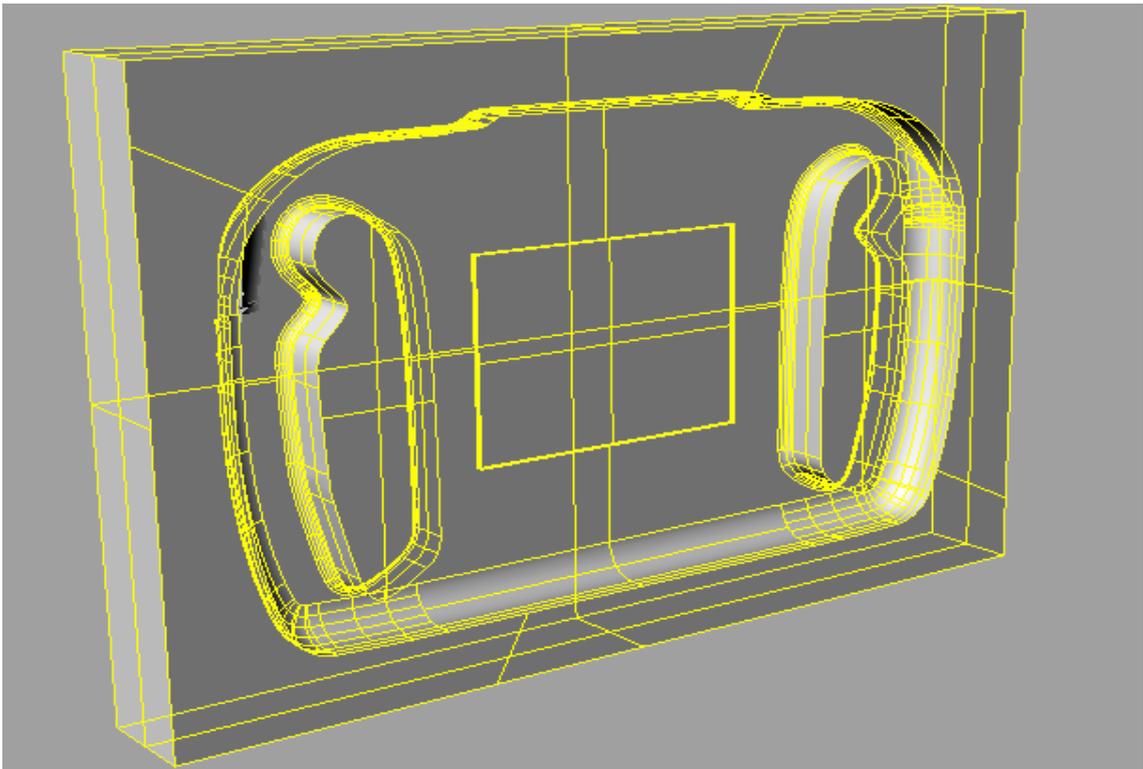


Figura 46: Lado 1 do molde em 3D – rebaixo em um sólido com a mesma especificação da chapa a ser utilizada
Fonte: As autoras (2014).

7.2 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE MOLDE

O molde foi usinado em Poliuretano utilizando-se de uma fresadora CNC, nele foram realizados diversos acabamentos. Após a retirada do molde da máquina (Figura 47), o modelo foi lixado com uma lixa de granulação 240 para tirar rebarbas de material ou marcas da fresa, para poder assim, iniciar o acabamento superficial do molde.



Figura 47: Molde usinado em PU
Fonte: As autoras (2014).

A primeira etapa de acabamento superficial foi a massa plástica poliéster, facilmente encontrada em lojas de pintura ou materiais de construção. A massa plástica além de isolar o Poliuretano, garantirá uma superfície ideal para a laminação.

O primeiro passo com a massa plástica é ler atentamente as instruções da embalagem quanto a quantidade de catalisador (endurecedor) que deve ser utilizada para a quantidade de massa. Recomenda-se que sejam feitas pequenas quantidades de massa por vez, misturando bem, para que a massa e o catalisador tornem-se uma pasta homogênea. É recomendado também a utilização de máscara e luvas, pois a massa possui solventes tóxicos.

A massa deve ser passada em camadas finas de forma cuidadosa (Figura 48) com uma espátula Plástica. Colocando um pouco de massa no centro da espátula e passando-a rente ao material.



Figura 48: Molde com uma fina camada de massa plástica
Fonte: As autoras (2014).

Além das espátulas plásticas encontradas no mercado, foram utilizadas espátulas feitas manualmente utilizando pedaços de uma chapa de Polipropileno (PP) de 1mm de espessura, recortada com tesoura de chapa em tamanhos menores e formatos que alcançassem cantos e reentrâncias do molde. Em alguns pontos, fez-se necessária a utilização das pontas dos dedos para passar a massa.

Foram passadas duas camadas de massa plástica, lixadas cuidadosamente com lixa d'água e água (Figura 49). As granulações das lixas utilizadas foram de 150, 240, 360 e 500, nesta ordem. Após a finalização das duas camadas, alguns pontos das bordas apresentavam cor amarelada, indicando que estavam em PU e não em massa plástica, foi então aplicada uma camada adicional somente nessas partes e depois lixadas apenas com lixa d'água 400.



Figura 49: Molde sendo lixado com lixa d'água
Fonte: As autoras (2014).

A técnica de lixar com água pode ser feita com um balde, ou pote ou em uma pia com água corrente. Como nesse caso o molde possuía uma cavidade, adicionou-se água nela para utilizar durante esse processo, trocando-a sempre que necessário (geralmente quando a água começa a perder transparência, indicando que o material retirado pela lixa encontra-se nela).

Com a finalização da etapa de massa plástica, já com o molde seco, foram passadas duas camadas de tinta. Nessa etapa pode ser utilizada tinta comum à base d'água, como foi utilizado nesse caso, ou tinta fundo, primer ou qualquer tinta não corrosiva disponível. A cor não importa, porém utilizar cores claras facilita a visualização de defeitos superficiais e utilizar uma cor diferente da massa plástica pode ajudar na identificação da cobertura de cada camada.

Com um rolinho de pintura foram passadas duas camadas de tinta cinza claro à base d'água (Figura 50). Em lugares de difícil alcance onde o tamanho do rolinho impossibilitava a pintura, utilizou-se pequenos pedaços de espuma comum, que pode ser pedaço de esponja para lavar louça ou similar.

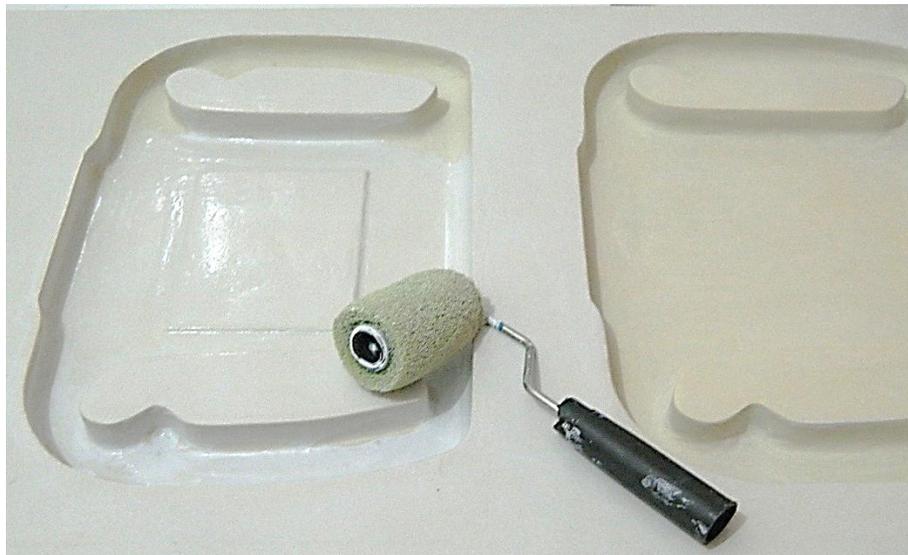


Figura 50: Molde sendo pintado
Fonte: As autoras (2014).

Algumas tintas podem deixar pequenas marcas ou grânulos em evidência tornando necessário o processo de lixar novamente. Recomenda-se uso de lixa 800 ou 1200, lixas muito finas que não estragarão o acabamento total da tinta, preferencialmente com a utilização da técnica de lixar com água.

Após essa etapa, utilizou-se uma massa de polir número 2, muito utilizada para polimento de peças automotivas. Essa massa foi passada e polida em camada única

(Figura 51). Com a superfície limpa e seca, passa-se a massa de polir com um pano limpo e em seguida, deve-se polir com movimentos circulares, também com um pano limpo que deve ser trocado constantemente, conforme a massa empastar e depositar-se nele.



Figura 51: Molde polido com massa de polir nº2
Fonte: As autoras (2014).

Após o polimento a superfície estará pronta para receber a fase desmoldante, que precede a laminação. É necessário aguardar cerca de 1 hora para a próxima etapa, para que a massa de polir esteja completamente seca.

7.3 LAMINAÇÃO

Para a laminação ser bem sucedida, faz-se necessário o uso de desmoldantes, garantindo que a peça sairá do molde. Com a superfície polida e seca, foi utilizada a cera Tec-glaze, com base em cera de carnaúba, foram aplicadas 4 demãos (Figura 52) seguindo as etapas indicadas na embalagem.



Figura 52: Molde sendo encerado
Fonte: As autoras (2014).

A cera deve ser passada com um pano limpo em uma camada fina, é necessário aguardar entre 5 e 10 minutos para iniciar o processo de polimento. Não é recomendado aguardar mais que isso, pois a cera inicia o processo de secagem, dificultando o polimento posterior (movimentos circulares). O tempo de espera entre camadas deve ser de 30 minutos ou mais, para garantir que a camada anterior já esteja seca na aplicação da próxima.

Para a próxima etapa, o desmoldante PVA, recomenda-se o aguardo de uma hora ou mais. O desmoldante PVA, de acordo com informações da fabricante Redelease, é um preparado líquido à base de álcool polivinílico que, quando aplicado, produz uma película fina, flexível e anti-aderente, dando a peça moldada um acabamento liso e brilhante. O PVA na cor Verde garante uma melhor visualização da superfície preparada e por isso foi utilizado. Esse desmoldante é conhecido popularmente como separol.

No mercado encontra-se facilmente diversos tipos de desmoldantes, alguns específicos para utilização com resina epóxi. Optou-se por usar o PVA devido seu baixo custo, facilidade de manuseio e com base em experiências positivas anteriores com resina epóxi e poliéster.

A aplicação do PVA é simples, mas deve ser feita com cuidado, especialmente em superfícies com concavidades, como é o caso do molde apresentado neste trabalho. Primeiro, em um pote menor, separe um pouco do PVA, lembrando-se de agitar bem a embalagem antes de usar. Com um pincel limpo, e preferencialmente que não solte cerdas, aplicar uma camada fina na superfície do molde (Figura 53).



Figura 53: Molde com Separol
Fonte: As autoras (2014).

Dependendo da marca, o desmoldante parecerá se separar em pequenas partículas, porém, no tempo de secagem ele formará o filme normalmente. O tempo de secagem é de uma hora, mas recomenda-se esperar duas horas antes da laminação.

Nesse caso, a peça final será laminada diretamente no molde, que possui uma vida útil muito pequena. Caso haja intenção de produzir-se mais peças, recomenda-se laminar um molde em fibra de vidro com matriz de resina poliéster, utilizando Gel isoftálico (Gelcoat), com processo de laminação semelhante ao processo que explicaremos na sequência.

Após a secagem do separol (PVA), pode ser passada uma camada extra de cera com o mesmo processo anterior. Nesse caso, decidiu-se por não utilizar essa etapa por conta da dificuldade de passar cera em certos pontos da concavidade que poderiam ocasionar a retirada do filme durante o manuseio da cera, comprometendo a qualidade de desmolde da peça.

Antes de iniciar o processo de laminação, recomenda-se a separação de todos os materiais, equipamentos de segurança e ferramentas necessárias. Recipiente, mexedor, pincéis, rolos metálicos, espátulas, entre outros. É recomendável deixar um pote com thinner ou outro solvente próximo, para colocar pincéis ou outra ferramenta utilizada após o contato com a resina.

Recomenda-se uso de máscara, pois os produtos são tóxicos e podem ser prejudiciais à saúde. Guarda-pó, óculos de proteção e luvas devem ser utilizados mesmo enquanto em contato apenas com as fibras.

Antes de iniciar o procedimento, o tecido de fibra de carbono de 300 gramas por m², deve ser cortado de acordo com as medidas do molde (Figura 54). Recomenda-se o encaixe das partes recortadas e testes, para garantir que todo o molde será coberto.



Figura 54: Ajustando cortes de tecido de fibra de carbono
Fonte: As autoras (2014).

Se houver intenção de deixar as fibras à mostra, recomenda-se um cuidado especial com a primeira camada, cuidando inclusive do sentido que a fibra ficará quando laminada. Para as demais camadas não existe essa necessidade.

Para esse trabalho, foram feitos moldes de cada espaço, enumerando de acordo com a ordem de colocação durante o processo de laminação (Figura 55). É importante ressaltar que os tamanhos devem conter pequenas diferenças, de modo a evitar que a emenda de fibras seja sempre no mesmo lugar e possibilite fragilidade nesses pontos.

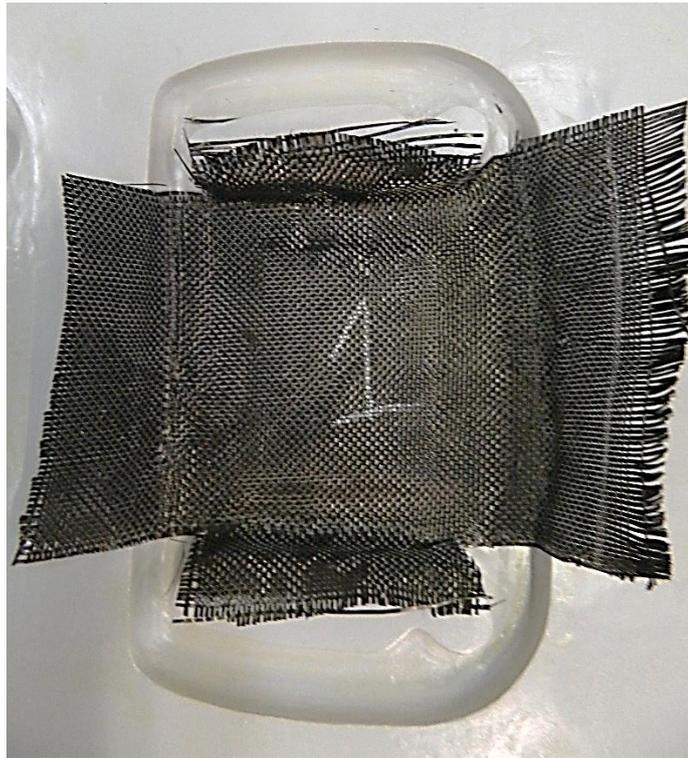


Figura 55: Molde de tecido de fibra de carbono enumerado
Fonte: As autoras (2014).

A Resina Epóxi utilizada, Araldite de acordo com o fornecedor, deve ser utilizada com uma proporção de 40 a 100% de catalisador Aradur (endurecedor). O material foi doado para a Equipe Imperador UTFPR por uma empresa que a patrocina, por não possuir autorização de divulgar o nome da empresa, manteremos a fonte dessas informações em sigilo.

O endurecimento da resina também depende de condições climáticas, e ao adicionar o catalisador deve-se considerar o tempo de trabalho que deseja ter para a resina.

Para fazer a mistura é recomendável a utilização de uma balança de precisão. Para demonstrar o processo de forma simples, sem processo industrial, optamos por utilizar medidores convencionais em mililitros.

Na primeira mistura, utilizamos 80ml de resina para 40ml de catalisador. Essa mistura possibilitou um tempo de trabalho de 1h30 sem que a resina catalisasse no pote. Nesta etapa, foi passada uma camada de resina no molde e então aguardou-se 30 minutos para iniciar a colocação dos tecidos. Esse tempo de espera foi oferecido para evitar que a fibra passasse posteriormente a resina da primeira camada.

Durante o processo de laminação (Figura 56) a primeira camada de fibra de carbono foi colocada cuidadosamente respeitando a numeração dos moldes e com

cuidado para manter um sentido único da fibra, tentando não evidenciar os pontos de emenda do tecido, Por conta disso, a aplicação da primeira camada nas duas partes do molde demorou cerca de 1h.

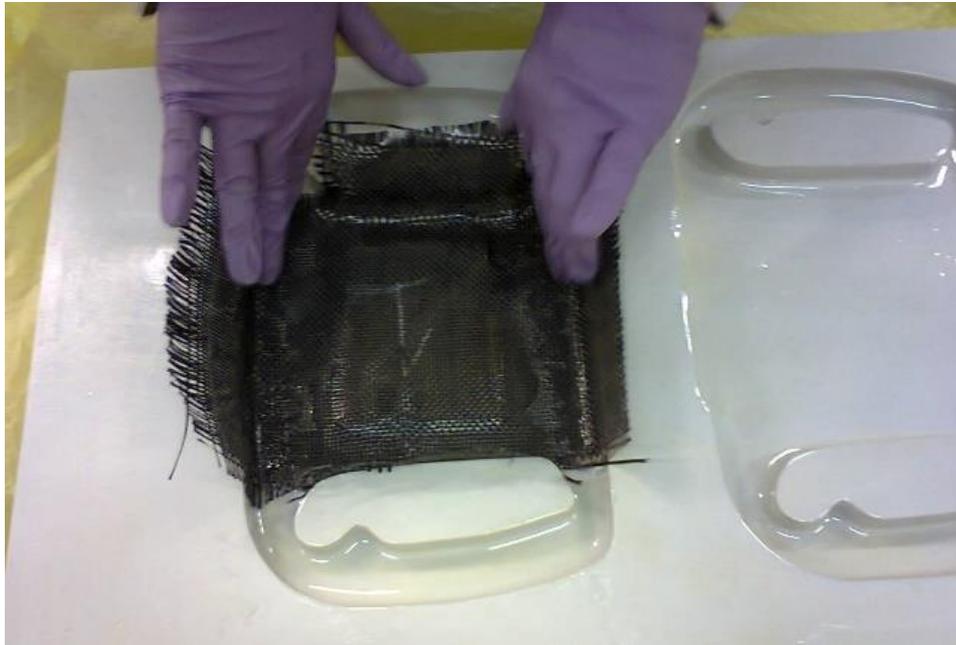


Figura 56: Processo de laminação do volante
Fonte: As autoras (2014).

As fibras foram colocadas cuidadosamente no lugar e para embeber as fibras com resina, utilizou-se um pincel sem excesso de resina dando batidas leves com o pincel em posição perpendicular ao local de aplicação. Esse procedimento evita acúmulo de resina em determinados pontos e aplicação de quantidade excessiva. Para evitar o acúmulo utilizou-se também de uma espátula para espalhar a resina nas superfícies onde era possível.

É preciso ter um cuidado especial nas curvas e raios, para que o tecido não seja puxado de um lado, deformando o modelo e diminuindo a qualidade do resultado final da laminação.

Após a camada inicial, cerca de 30ml de resina foi descartado por apresentar textura muito viscosa, ou seja, a catálise estava em um momento do processo onde não era mais possível manusear a resina. Na segunda mistura, utilizou-se uma maior proporção de catalisador na resina, 50ml de catalisador para 70 de resina, pois o tempo de trabalho seria menor. As camadas seguintes utilizaram-se do mesmo processo da anterior, colocando o tecido de fibra de carbono e dando batidinhas leves com o pincel, porém o encaixe do tecido não foi tão uniforme ou cuidadoso com o sentido da fibra, tornando o processo mais ágil. A adição de mais duas camadas de

manta em cada parte do molde com camadas de resina intercaladas demorou cerca de 50 minutos no total.

A peça poderia, neste momento ser submetida ao vácuo, considerando os devidos procedimentos e a adição dos plásticos de vedação necessárias que não citaremos no presente momento. Por não contarmos com uma máquina de vácuo com a potência ideal disponível na Universidade e por ser esse um processo mais próximo ao industrial, optamos por não utilizá-lo.

Caso a peça recebesse o tratamento de vácuo ou não, ela poderia também ser submetida a um forno de cura, para acelerar o processo de endurecimento da resina.

A secagem e cura de nossa peça foi feita com exposição à temperatura ambiente. Recomenda-se a cura em um ambiente grande, preferencialmente aberto, porém que não exponha a peça ao tempo, pois durante o processo de catalisação o material expelle gases tóxicos prejudiciais.

Após 24 horas de cura à temperatura ambiente, iniciou-se a etapa de desmolde. O desmolde é uma etapa delicada, que pode estragar completamente o molde ou a peça.

Primeiramente, afastou-se as bordas do molde utilizando espátulas metálicas pequenas, quando as bordas estavam aparentemente soltas, iniciou-se o processo de puxar a peça do molde. Com a ajuda de alicates, utilizando luvas de segurança, a peça foi puxada aos poucos com movimentos rápidos horizontais e verticais de forma a soltá-la aos poucos do fundo do molde.

Quando o molde aparentava estar solto, foram colocados alicates de pressão nas extremidades, o molde foi apoiado no chão e a peça puxada para cima. A peça saiu em perfeito estado, porém o molde tornou-se inutilizável e em alguns pontos da peça havia massa plástica do molde.

7.4 ACABAMENTOS

Quando a peça foi retirada do molde ela possuía muitas rebarbas (Figura 57) que foram retiradas, cortando perto da margem externa, ou seja, sem considerar o tamanho real do volante (Figura 58). Para marcar o tamanho conforme o modelo real deveria ser, recomenda-se o uso de um marcador de altura. O corte foi feito manualmente com uma mini retífica manual, geralmente conhecida como Dremel, a

marca de sua fabricante. Em seguida as bordas foram lixadas de modo a facilitar o encaixe das duas peças.



Figura 57: Peça retirada do molde
Fonte: As autoras (2014).



Figura 58: Retirada das rebarbas
Fonte: As autoras (2014).

Após o corte das sobras, percebeu-se que o desmoldante PVA em forma de película e algumas partes de massa plástica estavam na peça (Figura 59), por isso foi necessário lavar e passar uma espátula plástica para retirar a massa grudada.



Figura 59: Desmoldante e massa plástica sobre a peça
Fonte: As autoras (2014).

Após a retirada de resíduos da peça (Figura 60) existem dois procedimentos possíveis, um deles, considerando que a fibra ficará à mostra e outro considerando a pintura posterior, que se aplica a esse protótipo.



Figura 60: Volante após limpeza
Fonte: As autoras (2014).

Caso o acabamento desejado seja a fibra de carbono à mostra, recomenda-se um acabamento utilizando lixas d'água, lixando com água, de diversas granulações, incluindo 1200 e 2000. Após este acabamento com lixas d'água, é necessário passar novamente a massa de polir, pois o processo de lixar deixaria a peça fosca. Deve se considerar também a utilização de um verniz automotivo, que garante um acabamento brilhante que realça as fibras.

Conforme foi possível observar na imagem anterior, em algumas curvas internas, a resina quebrou-se. Não sabe-se ao certo se o problema ocorreu na fase de aplicação de desmoldante ou no desmolde físico. Porém, ele pode ser corrigido com a adição de resina nos pontos quebrados ou com a utilização de massa plástica.

Para garantir a fixação, foram feitas abas internas em um dos lados das peças (Figura 61). Para fazer tal aba, utilizou-se de uma massa comercialmente conhecida como Durepóxi, modelando-a internamente. Outra solução possível seria laminar uma aba com fibra de carbono ou vidro internamente.



Figura 61: Volante com Durepóxi
Fonte: As autoras (2014).

Após a secagem do Durepóxi, foi possível encaixar as duas metades do volante e com auxílio da cola epóxi, que possui um tempo de secagem rápido, unir as duas partes do produto.

Após a união das duas partes, iniciou-se o processo de acabamento. Para tampar os buracos causados pelos problemas durante a desmoldagem e eventuais espaços aparentes durante a colagem, utilizou-se novamente da massa plástica poliéster, aplicando com uma espátula.

Essa massa foi lixada com e sem água, conforme a necessidade de acabamento, com lixas de granulação entre 150 e 600.

Com a massa plástica com as formas ideais, iniciou-se a passagem de um fundo (primer de aplicação geral) para pintura aplicado com *spray*, duas demãos foram necessárias para uma cobertura ideal. Para receber a aplicação, a superfície deve estar limpa, seca e sem poeira. Jatos de ar e panos podem ser utilizados nesse procedimento. Deve-se cobrir com fita crepe ou papel máscara as regiões onde a pintura for indesejada.

Para pintura com tintas spray, recomenda-se que o frasco seja agitado em movimentos circulares e verticais por alguns minutos de forma a misturar o conteúdo da lata. O primeiro jato deve ser descartado e recomenda-se testar em outra superfície a uniformidade da tinta.

Com a tinta bem misturada, deve-se passar camadas orientadas, levando o spray pressionado de um lado a outro da peça em um sentido (horizontal por exemplo) e fazendo o mesmo movimento em um sentido cruzado (vertical por exemplo). Garantindo assim maior uniformidade na pintura. Não se deve manter o jato de spray pressionado sem movimentá-lo, pois isso ocasionaria concentração de tinta. A distância da lata deve ser de aproximadamente 150mm do objeto a ser pintado.

É importante, para todas as etapas de pintura, considerar os pontos de apoio da peça para a pintura, ganchos ou suportes. Para aplicação do Primer, a peça foi pendurada por uma das aberturas (Figura 62) e após a secagem da primeira camada, foi apoiada em outra abertura, para que os apoios não ficassem deficientes de tinta. No caso de uma pintura completa de um objeto, com pouco ponto de apoio, recomenda-se a pintura em mais de uma etapa.



Figura 62: Pintura com primer
Fonte: As autoras (2014).

A pintura pode ser feita com Spray de tinta automotiva, porém, para garantir o acabamento desejado, optou-se por pintar com tinta automotiva e envernizar em seguida. Para esta etapa recomenda-se a consulta ou contratação de um profissional de pintura automotiva.

Neste caso, utilizamos a técnica de pintura com ar comprimido e pistola (Figura 63). O ambiente de pintura deve ser bem iluminado e livre de poeiras que possam grudar na peça durante o processo de pintura, utilizamos uma cabine de pintura com cortina d'água, que retira do ar partículas da tinta, melhorando a qualidade do ar do ambiente para o pintor.



Figura 63: Pintura com tinta automotiva
Fonte: As autoras (2014).

O pintor deve utilizar proteção tanto para sua roupa, quanto para o sistema respiratório, evitando contato com os solventes da tinta. Recomenda-se também utilização de luvas e óculos de proteção.

A pistola deve estar devidamente limpa e a pressão deve ser regulada de acordo com a necessidade. Maiores detalhes devem ser obtidos com profissionais da área, que ditam com experiência, regras que não conseguimos registrar.

A pintura e o verniz foram aplicados com a mesma técnica e auxílio de um profissional, nestas etapas, foi necessário planejar apoios e suportes para garantir uma pintura uniforme (Figura 64).

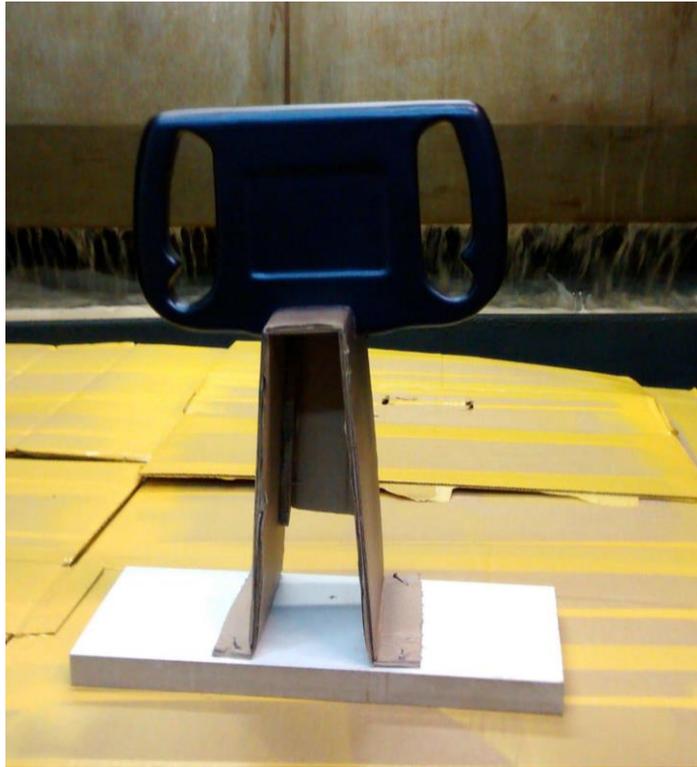


Figura 64: Suporte para pintura automotiva
Fonte: As autoras (2014).

Após a pintura, a peça foi novamente lixada com lixas d'água 1200 e 2000 com água e sabão, de forma a retirar grânulos de poeira ou imperfeições causadas pelo acúmulo de tinta. Com a superfície lixada, é possível polir com massa de polir nº 2 e se necessário, aplicar cera automotiva.

Para chegar ao resultado final (Figura 65), foram aplicados adesivos de acabamento, pequenas faixas em verde, azul e amarelo, condizentes com a proposta de identidade visual inspirada no Ayrton Senna, onde referencia-se o capacete utilizado por anos pelo piloto. (Figura 13: Painel Semântico – Conceito visual Ayrton Senna).

As faixas adicionadas em adesivos poderiam ter sido pintadas, porém, o custo de tintas e o tempo perdido com processo de pintura em diversas etapas e a necessidade de utilização de diferentes máscaras fez com que, para este projeto, este processo não fosse utilizado.



Figura 65: Volante com acabamentos
Fonte: As autoras (2014).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término do desenvolvimento deste trabalho foi possível analisar o trajeto de desenvolvimento do produto, que envolveu uma vasta pesquisa sobre materiais compósitos, em especial do composto por fibra de carbono e resina epóxi.

Inferese-se que o processo de pesquisa bibliográfica deve ser continuamente atualizado, pois a pesquisa e desenvolvimento de materiais tecnológicos avança constantemente. Durante a revisão foi possível conhecer e apresentar propriedades e aplicações, encontrando assim o caminho para decidir o produto a ser desenvolvido: um volante para veículo de Fórmula SAE.

Depreende-se que este trabalho contribuiu para registro dos métodos de produção de peças pequenas e ocas utilizando recursos manuais de laminação. E para exemplificação dos procedimentos de desenvolvimento de projeto de produto utilizando uma metodologia baseada em técnicas de Design. Abordando processo criativo, produção de modelos volumétricos, *mock-up* e protótipo.

Espera-se que este trabalho possa contribuir para o progresso dos procedimentos de desenvolvimento de produtos de Design, bem como a utilização dos processos produtivos apresentados. Os procedimentos de pesquisa ergonômica e de público alvo contribuíram para o resultado final do produto e os métodos utilizados se mostraram satisfatórios.

Idealmente o protótipo deveria ter sido testado por uma equipe de Fórmula SAE e assim ter seu funcionamento validado. Durante o processo de produção desse trabalho, a equipe Imperador UTFPR da universidade deixou de produzir o protótipo, o que impossibilitou a realização de testes de uso. Porém, o trabalho será disponibilizado para equipes de todo o Brasil nos mesmos fóruns e grupos onde o questionário de público alvo foi enviado, possibilitando a reprodução do modelo, bem como futuros testes ou validações.

Espera-se que cada equipe que tente realizar os procedimentos presentes neste trabalho contribua para a constante evolução deste projeto, podendo ser, por exemplo, na adição de um rebaixo anatômico no apoio para polegar, na utilização e demonstração de outra técnica produtiva de molde, adaptação ao projeto de sua equipe, entre outros.

Recomenda-se que sejam realizados estudos para desenvolvimento de um painel e para a adição de componentes eletrônicos, como LEDs ou botões. Um estudo

aprofundado sobre um rebaixo anatômico ou acoplamento de outro material no apoio para polegar poderiam aprimorar o projeto.

O desenvolvimento deste trabalho contou com uma base em fabricação de moldes e laminação proporcionada pela participação na Equipe Imperador UTFPR, mas apresentou também variáveis diferentes dos trabalhos realizados anteriormente. Com os erros ocorridos foi possível enumerar falhas e recomendar novos estudos.

Quanto à produção prática da peça, é recomendável que seja realizada mais uma etapa de molde. O molde inicial (pré-molde) em Poliuretano deve ser baseado na modelagem em 3D, dividindo-a em duas partes e fazendo dois lados de molde com relevo e não rebaixo conforme apresentado. Relevos permitem maior facilidade de manuseio e conseqüentemente permite um acabamento melhor. A partir desse pré-molde, deve ser laminado um molde em fibra de vidro com resina poliéster.

O procedimento é parecido com os apresentados e contaria apenas com a adição do Gel Coat pré-acelerado a ser aplicado com o pincel substituindo a primeira camada de resina. Deve ser passado em duas demãos cruzadas com um pincel limpo, aguardando cerca de 3 horas por camada. Cada camada deve ter aproximadamente 0,5mm. A quantidade de catalisador a ser utilizada pode variar de acordo com o fabricante, recomenda-se então que esta seja verificada no ato da compra.

A resina poliéster deve ser utilizada com uma medida de 0,5% a 5% de catalisador. Recomenda-se a utilização 4 a 6 camadas de manta de fibra de vidro (fibras descontínuas), com gramatura de 300g/m² ou de 3 a 5 com gramatura de 600g/m². As instruções de utilização de equipamentos de segurança e manuseio são as mesmas apresentadas no trabalho com resina epóxi.

Quando desmoldada, cada peça deve ser limpa de modo a retirar resíduos de desmoldantes. Caso seja necessário, deve-se corrigir imperfeições com massa poliéster ou massa rápida para encobrir cavidades e lixa para eliminar protuberâncias. E então, iniciado os procedimentos de polimento e aplicação de desmoldantes, preparando a peça para a laminação com a fibra de carbono e resina epóxi.

Recomenda-se durante processos de laminação a utilização de balança de precisão, pois a porcentagem de catalisador encontra-se em peso e não em volume. Se possível, a peça poderia ser submetida ao vácuo, utilizando os processos inerentes a esse procedimento. A cura poderia contar com um forno de cura ou câmara quente para acelerar o processo de cura e endurecimento da peça.

Para o procedimento de colagem, seria possível laminar uma aba interna para facilitar o encaixe dos dois lados do protótipo. Recomenda-se ainda, a realização de

testes de utilização da própria resina epóxi, pois é possível que o resultado obtido e o tempo de trabalho sejam melhores para essa aplicação.

Com relação aos acabamentos, a adesivagem mostrou-se interessante, por permitir mudanças sem reformas nos modelos. Como cores e conceitos de carros de Fórmula SAE podem modificar-se a cada competição, os adesivos proporcionam versatilidade ao modelo, que pode ser utilizado inúmeras vezes.

Conclui-se que o trabalho foi motivo de grande aprendizagem, e que, apesar dos objetivos iniciais terem sido contemplados, novos objetivos surgiram no decorrer do trabalho. Conforme proposto, as informações sobre fibra de carbono com resina epóxi e a demonstração de sua aplicação em um projeto produto de design foram apresentados. Uma vez que os dados sobre compósitos foram reunidos e disponibilizados e citou-se áreas de design de produto onde são aplicados, espera-se que surjam novas possibilidades de aplicação e que os dados levantados sejam relevantes e amplamente utilizados no meio acadêmico.

O processo apresentado comprovou a possibilidade de fabricação de produtos compostos de carbono-epóxi com qualidade fora do ambiente industrial. Demonstrando os processos de design envolvidos desde a concepção do produto até os procedimentos de fabricação de molde e laminação, passando pelas etapas de desenho digital, modelagem em 3D e acabamentos superficiais.

Durante a produção do trabalho, surgiu uma nova motivação: a continuidade do projeto. Além das sugestões feitas anteriormente de trabalhos que podem ser desenvolvidos a partir destes estudos, espera-se que novos testes sejam feitos e registrados, que as técnicas apresentadas sejam aprimoradas de forma a se aproximar ainda mais do ambiente industrial. A análise de processos de fabricação industriais possíveis e aplicáveis a este estudo de caso enriqueceria a pesquisa, possibilitando a demonstração de sua produção em larga escala.

REFERÊNCIAS

AHRENS, Carlos Henrique; FERREIRA, Cristiano Vasconcellos; PETRUSH, Günter; CARVALHO, Jonas de; SANTOS, Jorge Roberto Lopes dos; SILVA, JORGE Vicente Lopes da; VOLPATO, Neri. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo, SP: E. Blücher, 2007. xxi, 266 p.

DELCAM PLC. **ArtCAM Pro**. Birmingham, UK, 2007.

ASKELAND, Donald; PHULÉ, Pradeep Prabhakar. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. xix, 594 p.

ASHBY, Michael Farries; JONES, David Rayner Hunkin. **Mechanics of composite materials**. Editora Campus, 3edição, 2007

BAXTER, Mike; **Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos**. Editora Blücher, 2008, São Paulo.

CALLISTER, William. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Cap. 16, GEN - LTC, 2012.

CARVALHO, Rosangela M. de; KUBOTA, Lauro T.; ROHWEDDER, Jarbas J.. **Fibras de carbono: aplicações em eletroanalítica como material eletródico**. Quím. Nova, São Paulo, vol. 16, n° 3, p. 193-201. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421999000400018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 set. 2013.

CUNHA, Jose Antônio P., COSTA, Michelle L.; REZENDE, Mirabel C. **Polímeros: Ciência e Tecnologia** - Resistência à tração de compósitos de fibra de carbono/epóxi modificada.vol. 16, n° 3, p. 193-201, 2006 193. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v16n3/04.pdf>>. Acessoem: 08 set. 2013.

DASSAULT SYSTÈMES. **SolidWorks Corp**. Versailles, França, 2010.

ELAM, Kimberly. **Princípios universais do design: 125 maneiras de aprimorar a usabilidade, influenciar a percepção, aumentar o apelo e ensinar por meio do design**. Editora COSAC NAIFY. São Paulo, 2010.

FRANCO, Francisco Manoel de Mello; HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. 1. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009. 1986 p.

GAY, Daniel. **Composite materials: design and applications**. CRC Press, Boca Raton, 2nd ed., 2007.

IFAO –Institut fuer angewandte Organisationsforschung (Instituto de Pesquisas Organizatórias Aplicadas) **Comando numérico CNC: técnica operacional**, 1985, editora E.P.U (Editora Pedagógica e Universitária), São Paulo.

JONES, Robert M. **Mechanics of composite materials**. Scripta Book Company, 1975.

LIDWELL, William; HOLDEN, Kritina; BUTLER, Jill. **Princípios universais do Design**, Editora Bookman, São Paulo, 2010.

PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de Engenharia: Microestrutura e propriedades**, Editora Hemus, 1997.

PIRES, Eduardo N. et al. **Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi**. *Polímeros*, São Carlos, v. 22, n. 4, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-1428201200040006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 13 set. 2013.

REZENDE, Mirabel C.; BOTELHO, Edson C. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial**. *Polímeros*. São Carlos, v. 10, n. 2, 2000. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282000000200003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 20 de setembro de 2013.

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. **Rhinoceros NURBS 3-D modeling software**. Seattle, USA, 2010. Disponível em: <<http://www.rhino3d.com/download.htm>>.

SMITH, William F. **Princípios de ciência e engenharia dos materiais**. Cap. 13, McGraw-HILL de Portugal Ltda., 1998.

TILLEY, Alvin R. **As medidas do homem e da mulher: fatores humanos em design**. Ed. Bookman, São Paulo, 2007.

VENTURA, Ana Mafalda F.M. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Vol. 21, n.º 3/4, PG 10, 11, 2009. Disponível em <<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/ctm/v21n3-4/v21n3-4a03.pdf>>. Acesso em 18 de setembro de 2013.

SITES CONSULTADOS

AVIAÇÃO, **Os materiais compósitos e suas aplicações na indústria aeroespacial**. Disponível em <<http://www.aviacao.org/especiais/materiais-compositos/18/#fontes>>. Acesso em 18 de set. 2013.

SAE BRASIL, **Institucional**. Disponível em <http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/arquivos/2014_fsae_rules..pdf>. Acesso em 31 de maio. 2014.

_____. Disponível em <www.saebrasil.org.br>. Acesso em 20 set. 2013.

SAE BRASIL, **Fórmula SAE rules**. Disponível em: <<http://www.fsaeonline.com/content/2014%20FSAE%20Rules%20Final%208192013.pdf>>. Acesso em 29 set. 2013

_____. Disponível em: <<http://students.sae.org/cds/formulaseries/about.htm>> Acesso em 30 set. 2013.

APÊNDICE A – Seção T6.5 do Artigo 6 referente ao Regulamento FSAE 2014



T6.3.4 Aluminum wheel nuts may be used, but they must be hard anodized and in pristine condition.

T6.4 Tires

T6.4.1 Vehicles may have two types of tires as follows:

- Dry Tires – The tires on the vehicle when it is presented for technical inspection are defined as its “Dry Tires”. The dry tires may be any size or type. They may be slicks or treaded.
- Rain Tires – Rain tires may be any size or type of treaded or grooved tire provided:
 1. The tread pattern or grooves were molded in by the tire manufacturer, or were cut by the tire manufacturer or his appointed agent. Any grooves that have been cut must have documentary proof that it was done in accordance with these rules.
 2. There is a minimum tread depth of 2.4 mm (3/32 inch).

Note: Hand cutting, grooving or modification of the tires by the teams is specifically prohibited.

T6.4.2 Within each tire set, the tire compound or size, or wheel type or size may not be changed after static judging has begun. Tire warmers are not allowed. No traction enhancers may be applied to the tires after the static judging has begun.

T6.5 Steering

T6.5.1 The steering wheel must be mechanically connected to the wheels, i.e. “steer-by-wire” is prohibited or electrically actuated steering, is prohibited.

T6.5.2 The steering system must have positive steering stops that prevent the steering linkages from locking up (the inversion of a four-bar linkage at one of the pivots). The stops may be placed on the uprights or on the rack and must prevent the tires from contacting suspension, body, or frame members during the track events.

T6.5.3 Allowable steering system free play is limited to seven degrees (7°) total measured at the steering wheel.

T6.5.4 The steering wheel must be attached to the column with a quick disconnect. The driver must be able to operate the quick disconnect while in the normal driving position with gloves on.

T6.5.5 The steering wheel must have a continuous perimeter that is near circular or near oval, i.e. the outer perimeter profile can have some straight sections, but no concave sections. “H”, “Figure 8”, or cutout wheels are not allowed.

T6.5.6 In any angular position, the top of the steering wheel must be no higher than the top-most surface of the Front Hoop. See Figure 3.

T6.5.7 Steering systems using cables for actuation are not prohibited by T6.5.1 but additional documentation must be submitted. The team must submit a failure modes and effects analysis report with design details of the proposed system as part of the structural equivalency spreadsheet (SES) or structural requirements certification form (SRCF). The report must outline the analysis that was done to show the steering system will function properly, potential failure modes and the effects of each failure mode and finally failure mitigation strategies used by the team. The organizing committee will review the submission and advise the team if the design is approved. If not approved, a non-cable based steering system must be used instead.

APÊNDICE B – Pesquisa com o público alvo realizada online

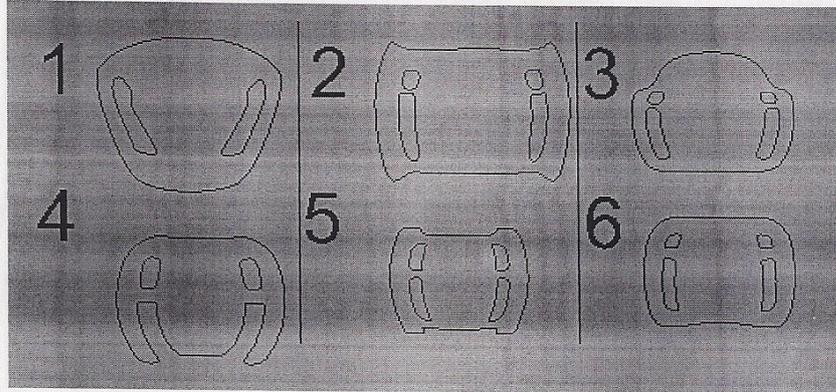
| Timestamp | Quantas vezes você já pilotou um veículo de Fórmula SAE? | Qual dos requisitos abaixo você julga MAIS importante em um volante projetado para veículo de FSAE? | O que você acredita que possa ser um diferencial para um volante de fórmula | Na escolha de um volante de FSAE para sua equipe, quais seriam os requisitos que influenciariam sua decisão? | Você poderia nos enviar imagens de volantes, atuais ou anteriores utilizados por sua equipe? | Quais as dimensões do volante utilizado pela sua equipe? |
|-------------------|--|---|--|---|--|--|
| | 4 ou mais | Preço baixo | Um modelo simples de fabricar, que cumpra as necessidades da minha equipe. Ergonomia é importante mas não é o diferencial, são 20 minutos de pilotagem no máximo por piloto. Baixo custo, alinhado a uma aparência agradável seria o ideal. | Preço baixo, Alta resistência, Conforto (ergonomia) | mauriliohadas@gmail.com | aproximadamente 300mm de diâmetro |
| 4/9/2014 23:33:14 | | 1 Ergonomia (conforto) | painel acoplado | Preço baixo, Material de qualidade, Baixo Peso, Alta resistência, Conforto (ergonomia) | | não sei dizer |
| 4/9/2014 23:37:07 | 0 | Segurança (confiabilidade) | acessibilidade, facilidade de manuseio | Preço baixo, Material de qualidade, Baixo Peso, Alta resistência, Design diferenciado, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | | acho q cerca de 250mm |
| 4/9/2014 23:48:22 | 0 | Segurança (confiabilidade) | Quanto menos melhor, o ideal seria um volante de acabamento simples que tenha bom grip. Botões e painéis podem distrair o piloto na hora da corrida, informações como velocidade e giro acabam se tornando desnecessários. A fórmula 1 tem todos aqueles botões e visores no volante para alívio de peso e para ajudar o piloto a fazer as alterações necessárias durante a corrida. | Preço baixo, Baixo Peso, Precisão nos movimentos | | 220mm de largura, 200 de altura e 30 de espessura |

| Timestamp | Quantas vezes você já pilotou um veículo de Fórmula SAE? | Qual dos requisitos abaixo você julga MAIS importante em um volante projetado para veículo de FSAE? | O que você acredita que possa ser um diferencial para um volante de fórmula | Na escolha de um volante de FSAE para sua equipe, quais seriam os requisitos que influenciariam sua decisão? | Você poderia nos enviar imagens de volantes, atuais ou anteriores utilizados por sua equipe? | Quais as dimensões do volante utilizado pela sua equipe? |
|-------------------|--|---|---|---|--|--|
| 4/9/2014 23:57:46 | 4 ou mais | Segurança (confiabilidade) | . | Preço baixo, Material de qualidade, Baixo Peso, Alta resistência, Design diferenciado, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | não | não sei |
| 4/10/2014 0:45:41 | 4 ou mais | Precisão de movimentos | Tamanho, cubo engate rápido eletrônico... | Material de qualidade, Baixo Peso, Alta resistência, Precisão nos movimentos | | 240mm de diâmetro |
| 4/10/2014 0:48:37 | 0 | Ergonomia (conforto) | funcionalidade e ergonomia | Baixo Peso, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | | 250x240 |
| 4/10/2014 1:01:42 | 0 | Precisão de movimentos | Usabilidade. | Preço baixo, Material de qualidade, Marca conhecida, Baixo Peso, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | | uns 20cm |
| 4/10/2014 1:36:33 | 0 | Alta resistência | Material com boa aderência na parte onde o piloto segura. | Preço baixo, Baixo Peso, Alta resistência, Conforto (ergonomia) | | 260x240mm |
| 4/10/2014 2:55:03 | 0 | Precisão de movimentos | Buzina acoplada ao volante como em um carro popular, "botões" estilo alavanca por exemplo em um carro popular dar a seta ou limpar o para briza (função de dar seta e limpar para briza não necessarias, podia ser usado para outras funções como por exemplo mexer no painel). | Material de qualidade, Alta resistência, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | | nao me lembro |
| 4/10/2014 7:49:23 | 3 | Alta resistência | Controle do veiculo e boa discriminacao entre as informações fornecidas | Baixo Peso, Alta resistência, Conforto (ergonomia) | Enviarei na sequência | Envio também na sequência |

| Timestamp | Quantas vezes você já pilotou um veículo de Fórmula SAE? | Qual dos requisitos abaixo você julga MAIS importante em um volante projetado para veículo de FSAE? | O que você acredita que possa ser um diferencial para um volante de fórmula | Na escolha de um volante de FSAE para sua equipe, quais seriam os requisitos que influenciariam sua decisão? | Você poderia nos enviar imagens de volantes, atuais ou anteriores utilizados por sua equipe? | Quais as dimensões do volante utilizado pela sua equipe? |
|--------------------|--|---|---|--|---|--|
| 4/10/2014 11:20:04 | 0 | Preço baixo | Botões e confiabilidade... | Preço baixo, Baixo Peso | Volante Sparco Kart | acho que tem no site da sparco |
| 4/10/2014 9:44:21 | 0 | Precisão de movimentos | Preferencialmente algo que se assemelhe aos volantes da F1 | Material de qualidade, Marca conhecida, Baixo Peso, Design diferenciado | | |
| 4/10/2014 13:13:24 | 4 ou mais | Segurança (confiabilidade) | Além da precisão dos movimentos, deveria possuir geometria ideal que forneça um raio de atuação suficiente para gerar o torque necessário para movimentar a cremalheira de maneira confortável para o piloto. | Precisão nos movimentos | https://lh3.googleusercontent.com/-q_FTcRh9FWE/UWzjjeGuBI/AAAAAQAo/3iNH_9dgT3A/w769-h577-no/28.JPG | |
| 4/10/2014 13:28:02 | 3 | Segurança (confiabilidade) | Troca de marcha eletrônica, display de velocidade, display de marcha, LEDs para rpm | Material de qualidade, Baixo Peso, Alta resistência, Design diferenciado, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | hugo@cheetahracing.com.br | |
| 4/10/2014 16:32:23 | 4 ou mais | Ergonomia (conforto) | Espaço no volante para que fosse possível colocar todos os botoões e o painel, no próprio volante. | Baixo Peso, Alta resistência, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | | 240x260 |
| 4/10/2014 22:05:23 | 4 ou mais | Ergonomia (conforto) | Ergonomia de uma maneira geral(não se limitando apenas ao conforto) | Material de qualidade, Baixo Peso, Alta resistência, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | | uns 250mm |
| 4/10/2014 22:38:17 | 2 | Ergonomia (conforto) | painel integrado | Preço baixo, Conforto (ergonomia) , Precisão nos movimentos | | |

| Timestamp | Quantas vezes você já pilotou um veículo de Fórmula SAE? | Qual dos requisitos abaixo você julga MAIS importante em um volante projetado para veículo de FSAE? | O que você acredita que possa ser um diferencial para um volante de fórmula | Na escolha de um volante de FSAE para sua equipe, quais seriam os requisitos que influenciariam sua decisão? | Você poderia nos enviar imagens de volantes, atuais ou anteriores utilizados por sua equipe? | Quais as dimensões do volante utilizado pela sua equipe? |
|--------------------|--|---|--|--|--|--|
| 4/11/2014 8:02:14 | 1 | Segurança (confiabilidade) | Controles da eletrônica do carro, telemetria em tempo real (tempo a cada volta, velocidade e nível de combustível restantes.) | Preço baixo, Material de qualidade, Alta resistência, Design diferenciado, Conforto (ergonomia) | Eu não possuo imagens nesse momento mas entrem em contato com o pessoal do Cheetah Racing UNIFEI, equipe em que trabalhei, inclusive na fabricação do nosso volante em fibra de carbono. Ele ficou muito bom mas pecamos no acabamento, devido à falta de tempo e falta de prática, mas os métodos utilizados pela equipe em 2012 foi sensacional. Prototipagem 3D para o modelo, Molde em fibra de vidro, volante laminado em fibra de carbono, preenchimento com PU (poliuretano) e acabamento com verniz. Espero ter ajudado. Eduardo eduardo.carvalho@ssi@gmail.com | me peça por e-mail |
| 4/11/2014 14:06:06 | 4 ou mais | Segurança (confiabilidade) | Funções adicionais (informações, botões...) e boa manufaturabilidade, nada muito complexo. | Baixo Peso, Alta resistência, Conforto (ergonomia), Precisão nos movimentos | felipemrmarra@gmail.com | |
| 4/12/2014 18:34:23 | 0 | Segurança (confiabilidade) | Um volante de Fórmula SAE deve ser preciso e gerar confiança para o piloto. O design dele é essencial para um moledo mais ergonômico e o material para um custo mais baixo. Em minha opinião, um volante com essas características é um volante ideal para Fórmula SAE | Preço baixo, Material de qualidade, Alta resistência, Design diferenciado, Conforto (ergonomia), Precisão nos movimentos | | diâmetro de 270mm |

APÊNDICE C – Formulários de avaliação dos modelos usados em 2D e termo de autorização de vinculação e divulgação das respostas



Nome: Emilia C. Picelli Sanches

Altura: 1,485 | Idade: 22 | Peso: 54kg | Percentil: F | Gênero: F

Você autoriza utilização e divulgação das informações prestadas e imagens coletadas? Sim

Assinatura: Emilia CP Sanches

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom

Modelo Avaliado: 1

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|-----------------------------------|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | | X | | |
| Diâmetro da pega | | X | | |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | | X | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | X | | | |
| Outras sugestões: | <u>adicionar apoio p/ polegar</u> | | | |

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom

Modelo Avaliado: 2

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|----------------------|---|---|-------------------------------------|
| Tamanho (diâmetro total) | X | | | <u>muito grande</u> |
| Diâmetro da pega | X | | | <u>mão não fecha / muito grande</u> |
| apoio para polegar | X | | | <u>n dá p/ segurar direito</u> |
| Qualidade da pega | X | | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | X | | | |
| Outras sugestões: | <u>diminuir pega</u> | | | |

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom

Modelo Avaliado: 3

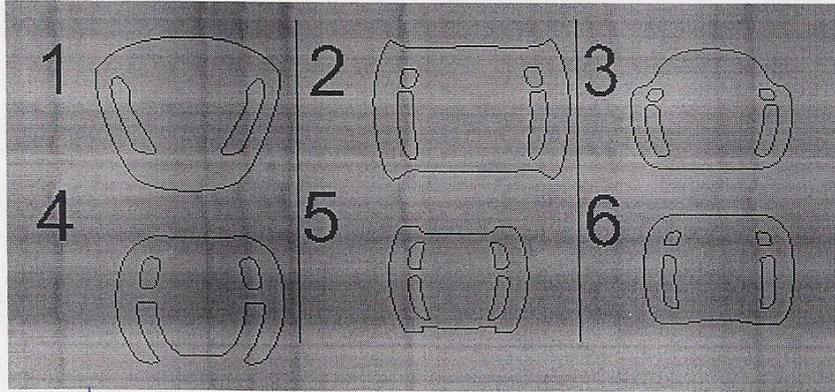
| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | | | X | |
| Diâmetro da pega | | | X | |
| apoio para polegar | | | X | |
| Qualidade da pega | | | X | |
| Aparência | | | X | |
| Confiabilidade | | | X | |
| Outras sugestões: | <u>Volume acima da pega pode atrapalhar a visão</u> | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 4 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | X | | |
| Diâmetro da pega | X | | |
| apoio para polegar | | X | |
| Qualidade da pega | X | | |
| Aparência | | | X |
| Confiabilidade | | X | |
| Outras sugestões: | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 5 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X |
| Diâmetro da pega | | X | |
| apoio para polegar | | X | |
| Qualidade da pega | | X | |
| Aparência | | | X |
| Confiabilidade | | | X |
| Outras sugestões: | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X |
| Diâmetro da pega | | | X |
| apoio para polegar | | | X |
| Qualidade da pega | | | X |
| Aparência | | | X lindo |
| Confiabilidade | | | X |
| Outras sugestões: | | | |

Emilia



Nome: Franca Mariana Giordani
 Altura: 1,63 Idade: 20 Peso: 65 Gênero: F
 Você autoriza utilização e divulgação das informações prestadas e imagens coletadas? Sim
 Assinatura: Franca Mariana Giordani

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 1

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | | X | | |
| Diâmetro da pega | | | X | |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | X | | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | | X | | |
| Outras sugestões: | | | | |

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 2

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|---------------------------|
| Tamanho (diâmetro total) | X | | | |
| Diâmetro da pega | X | | | <u>diminuir distância</u> |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | X | | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | X | | | |
| Outras sugestões: | | | | |

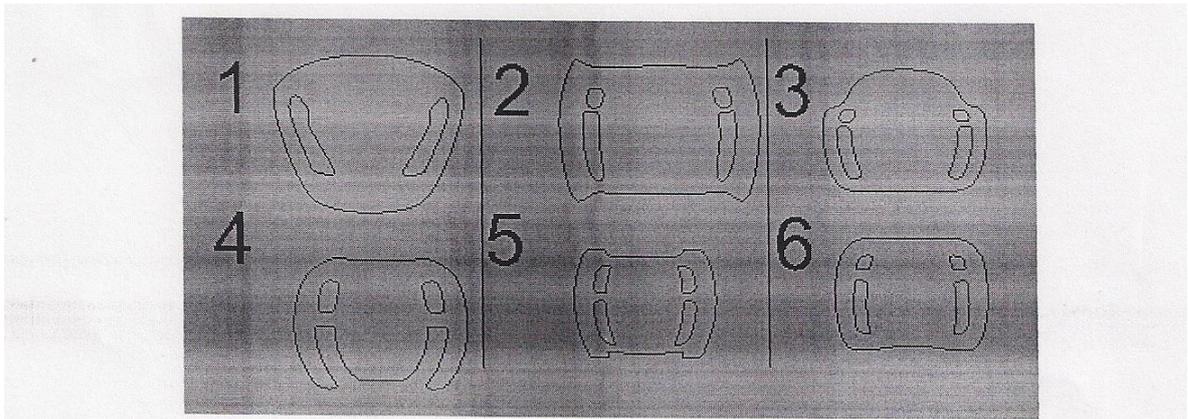
Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 3

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | | | X | |
| Diâmetro da pega | | | X | |
| apoio para polegar | | | X | |
| Qualidade da pega | | | X | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | | | X | |
| Outras sugestões: | | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | | |
|--|---|---|---|----------------|
| Modelo Avaliado: 4 | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | X | | |
| Diâmetro da pega | | X | | Um pouco menor |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | X | | | |
| Aparência | | | X | lindo /exótico |
| Confiabilidade | X | | | |
| Outras sugestões: | | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | | |
|--|---|---|---|------------|
| Modelo Avaliado: 5 | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X | |
| Diâmetro da pega | | X | | |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | | X | | |
| Aparência | | | X | |
| Confiabilidade | | X | | |
| Outras sugestões: | | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | | |
|--|---|---|---|------------|
| Modelo Avaliado: 6 | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X | |
| Diâmetro da pega | | X | | |
| apoio para polegar | | | X | |
| Qualidade da pega | | X | | |
| Aparência | | | X | |
| Confiabilidade | | X | | |
| Outras sugestões: | | | | |



Nome: Thiago Gonçalves Araújo
 Altura: 1,75 Idade: 20 Peso: 80kg Gênero: Masculino
 Você autoriza utilização e divulgação das informações prestadas e imagens coletadas? Sim

Assinatura:
Thiago G. Araújo

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 1

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | X | | | |
| Diâmetro da pega | | X | | |
| apoio para polegar | | X | | |
| Qualidade da pega | | X | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | | | X | |

Outras sugestões:

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 2

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | X | | | |
| Diâmetro da pega | X | | | |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | X | | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | X | | | |

Outras sugestões:

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 3

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | | | X | |
| Diâmetro da pega | | | X | |
| apoio para polegar | | | X | |
| Qualidade da pega | | X | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | | | X | |

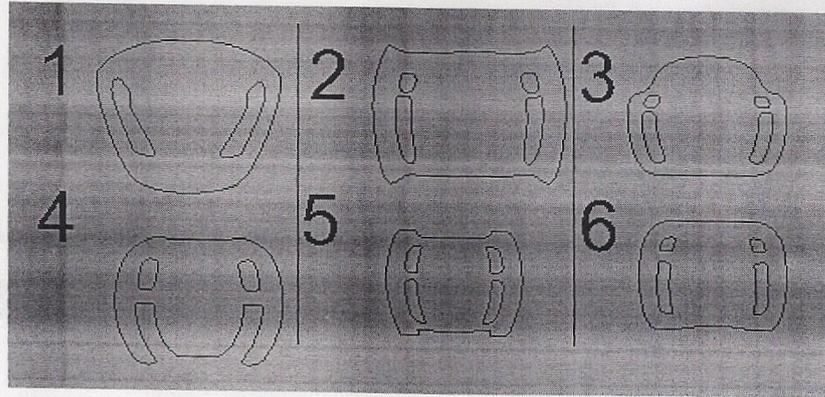
Outras sugestões:

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 4 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | X | |
| Diâmetro da pega | | X | |
| apoio para polegar | X | | |
| Qualidade da pega | | X | |
| Aparência | | | X |
| Confiabilidade | X | | |
| Outras sugestões: | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 5 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X |
| Diâmetro da pega | | X | |
| apoio para polegar | | | X |
| Qualidade da pega | | X | |
| Aparência | | X | |
| Confiabilidade | | | X |
| Outras sugestões: | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X |
| Diâmetro da pega | | | X |
| apoio para polegar | | | X |
| Qualidade da pega | | X | |
| Aparência | | | X |
| Confiabilidade | | | X |
| Outras sugestões: | | | |

Tiago



Nome: Maurício Vegetti Hadás
 Altura: 1,93 Idade: 21 Peso: _____ Gênero: Masculino
 Você autoriza utilização e divulgação das informações prestadas e imagens coletadas? Sim
 Assinatura: Maurício Vegetti Hadás

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 1

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | | X | | |
| Diâmetro da pega | | X | | |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | X | | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | | X | | |

Outras sugestões:

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 2

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | X | | | |
| Diâmetro da pega | X | | | |
| apoio para polegar | X | | | |
| Qualidade da pega | X | | | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | | X | | |

Outras sugestões:

Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom
 Modelo Avaliado: 3

| | 1 | 2 | 3 | Sugestões: |
|--------------------------|---|---|---|------------|
| Tamanho (diâmetro total) | | | X | |
| Diâmetro da pega | | | X | |
| apoio para polegar | | | X | |
| Qualidade da pega | | | X | |
| Aparência | | X | | |
| Confiabilidade | | X | | |

Outras sugestões:

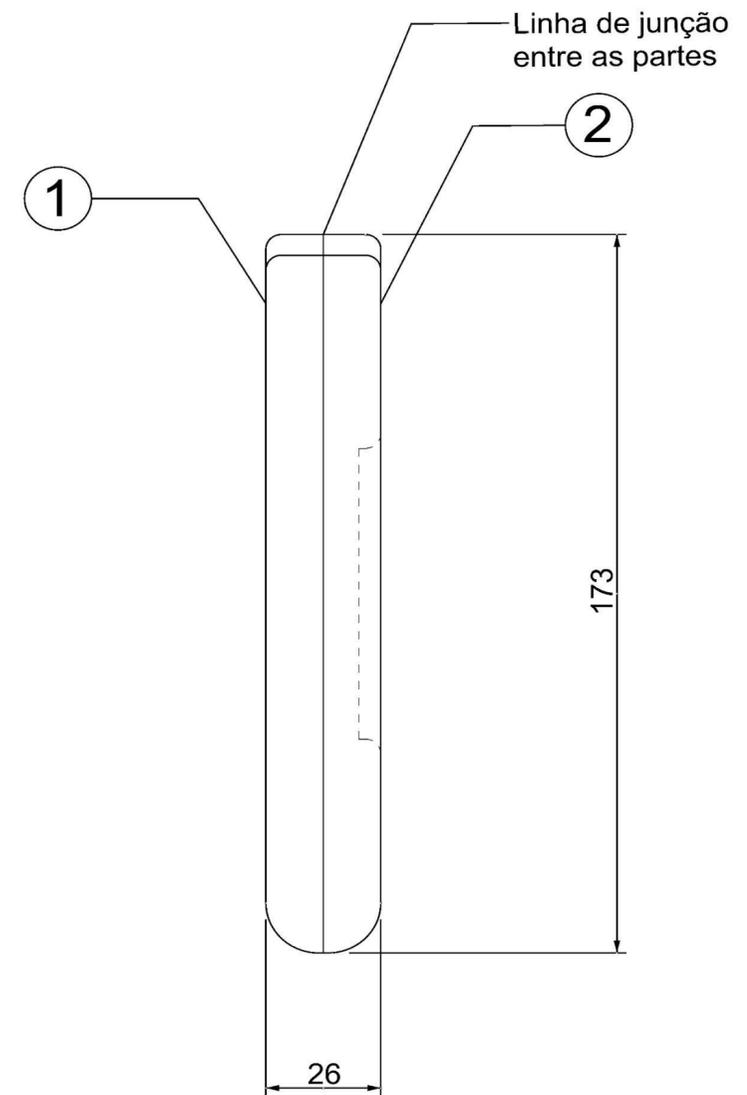
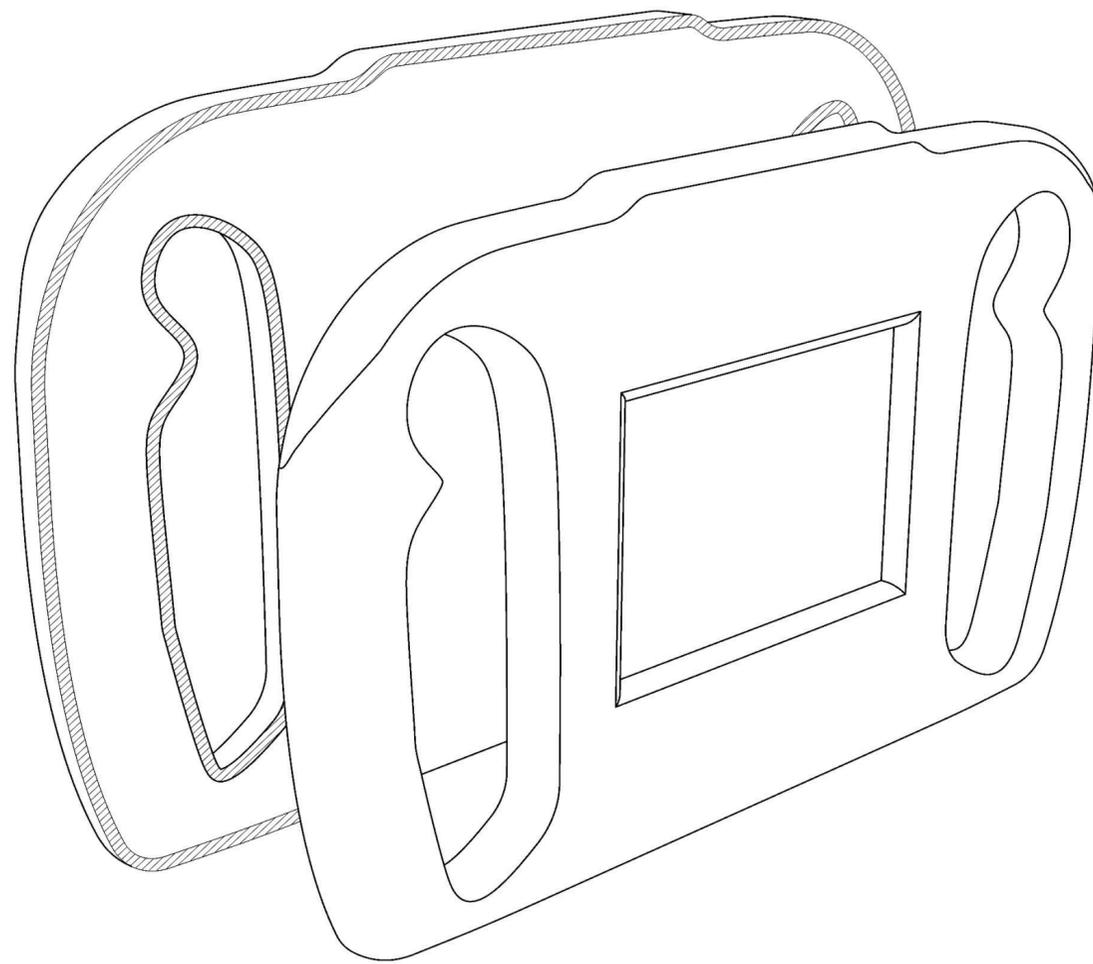
| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 4 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | X | |
| Diâmetro da pega | X | | |
| apoio para polegar | | X | |
| Qualidade da pega | X | | |
| Aparência | | X | |
| Confiabilidade | X | | |
| Outras sugestões: | | | |

| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 5 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X |
| Diâmetro da pega | X | | |
| apoio para polegar | X | | |
| Qualidade da pega | | X | |
| Aparência | | | X |
| Confiabilidade | | X | |
| Outras sugestões: | | | |

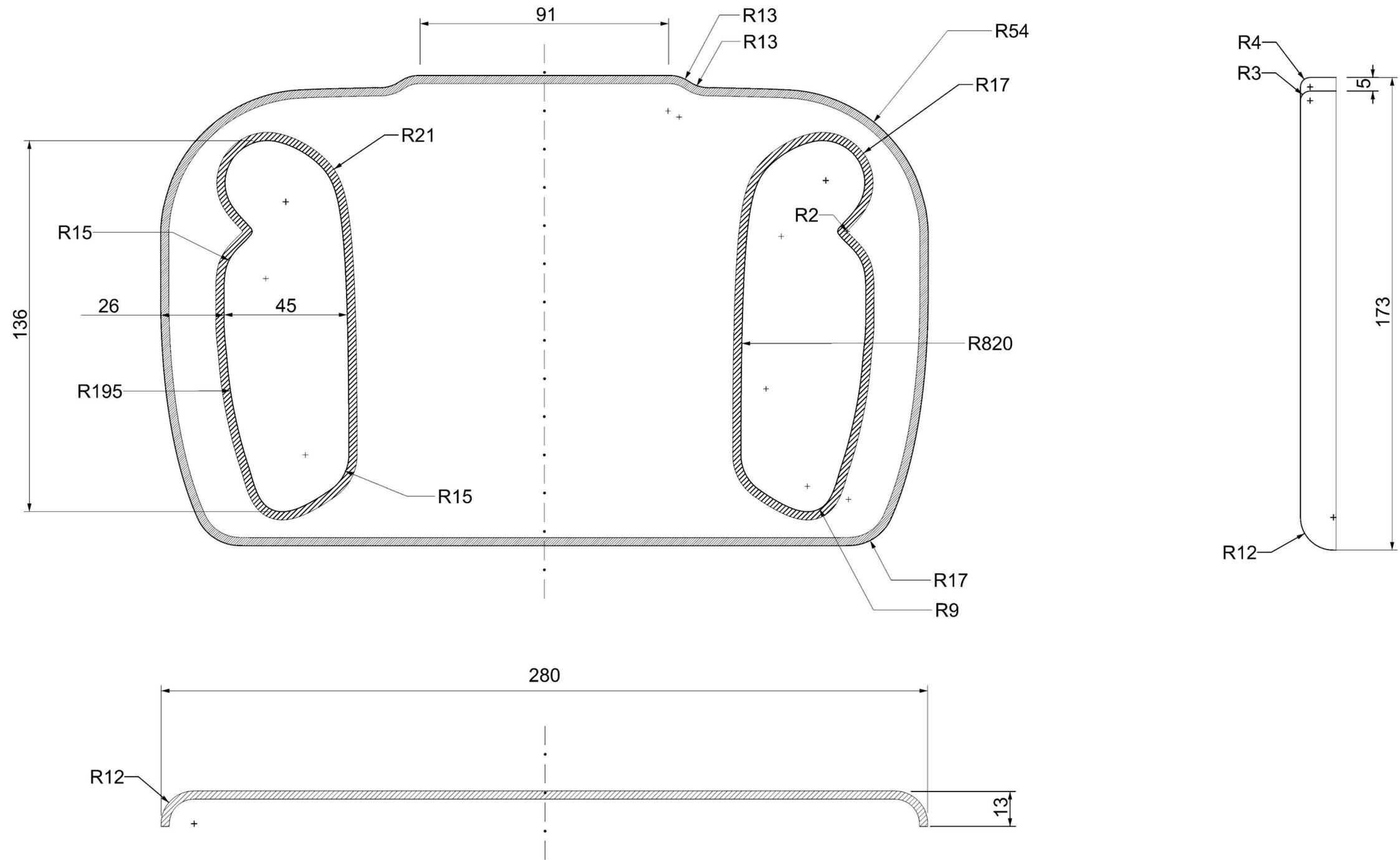
| Enumere os requisitos abaixo conforme sua percepção - 1 Ruim 2 Regular 3 Bom | | | |
|--|---|---|--------------|
| Modelo Avaliado: 6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 Sugestões: |
| Tamanho (diâmetro total) | | | X |
| Diâmetro da pega | | X | |
| apoio para polegar | | | X |
| Qualidade da pega | | | X |
| Aparência | | X | |
| Confiabilidade | | / | X |
| Outras sugestões: | | | |

Maurício Vagetti Hadas

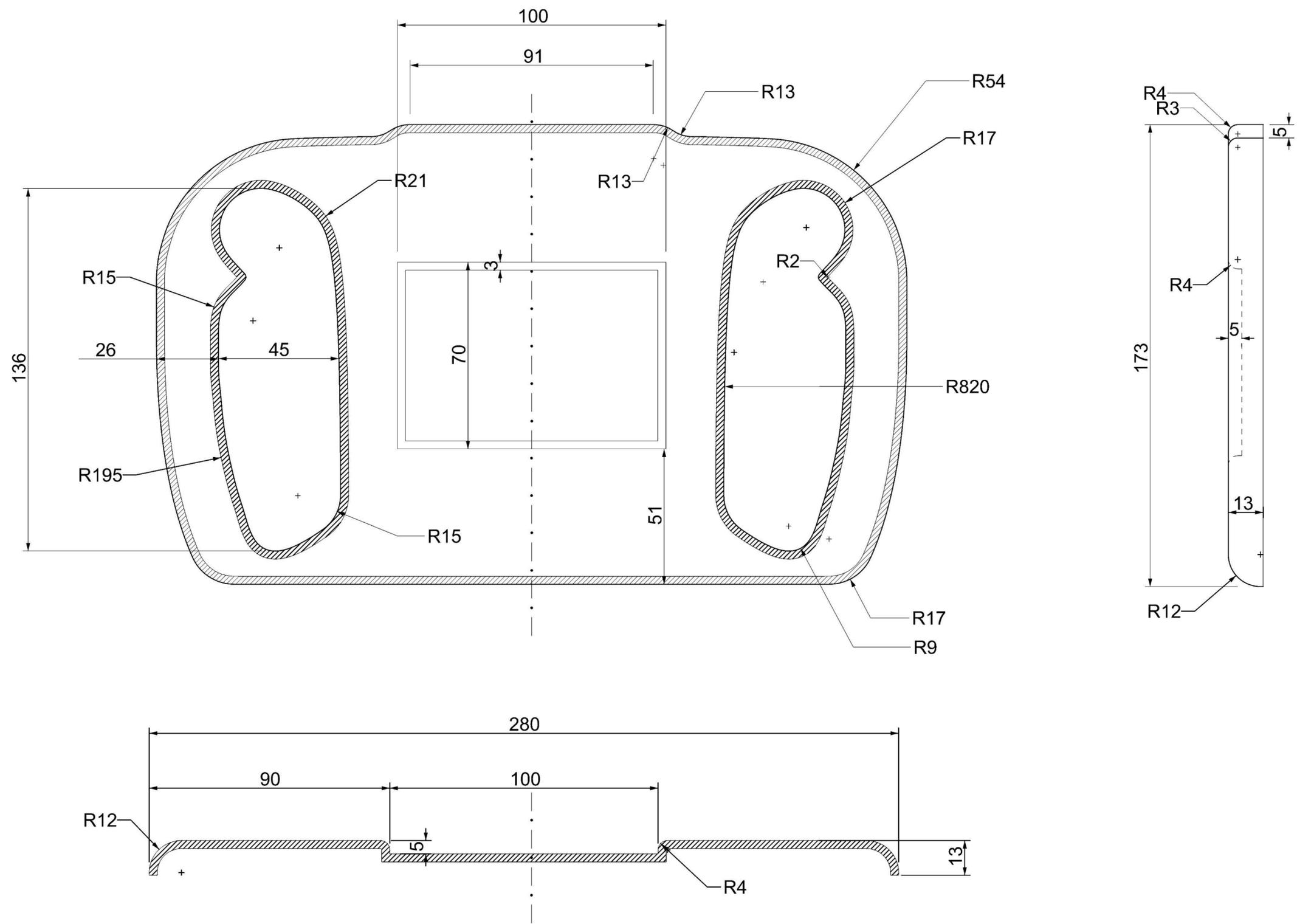
APÊNDICE D – Vistas ortográficas do volante



| | | | |
|--|--|---|---|
| Peça: 2 | Descrição: Parte com rebaixo para painel | Quantidade: 1 | Material: Fibra de Carbono |
| Peça: 1 | Descrição: Parte de trás sem rebaixo | Quantidade: 1 | Material: Fibra de Carbono |
| UTPR <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small> | | <small>UNIDADE: mm</small> <small>ESCALA: 1:1</small> |  |
| <small>DATA: 30/05/2014</small> <small>PROTÓTIPO PARA TCC</small> <small>PROJETO: Volante de Fórmula SAE</small> <small>AUTORAS: Carla K. Tanaka e Gabriela B. Fávero</small> | | <small>DESENHO NÚMERO: 1</small> <small>ORIENTADOR: Carlos A. Vargas</small> | Pg. 1 |



| | | | |
|--|--------------------------------------|--|---|
| Peça: 1 | Descrição: Parte de trás sem rebaixo | Quantidade: 1 | Material: Fibra de Carbono |
| UTPR <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small> | | DATA: 30/05/2014 PROTÓTIPO PARA TCC PROJETO: Volante de Fórmula SAE AUTORAS: Carla K. Tanaka e Gabriela B. Favero | UNIDADE: mm ESCALA: 1:1 DESENHO NÚMERO: 2 ORIENTADOR: Carlos A. Vargas |
| | | | Pg. 2 |



| | | | |
|---|--|---|------------------------------|
| Peça: 2 | Descrição: Parte com rebaixo para painel | Quantidade: 1 | Material: Fibra de Carbono |
|  | | DATA: 30/05/2014 | UNIDADE: mm |
| | | PROTÓTIPO PARA TCC | ESCALA: 1:1 |
| | | PROJETO: Volante de Fórmula SAE | DESENHO NÚMERO: 3 |
| | | AUTORAS: Carla K. Tanaka e Gabriela B. Fávero | ORIENTADOR: Carlos A. Vargas |