

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**GABRIEL SILVESTRE MIRANDA**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO *COCKPIT* EM UM FÓRMULA  
SAE ELÉTRICO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2021**

**GABRIEL SILVESTRE MIRANDA**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO COCKPIT EM UM FÓRMULA SAE  
ELÉTRICO**

**Cockpit design and development of a formula SAE electric car**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Me. José Roberto Okida

**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO COCKPIT EM UM FÓRMULA SAE ELÉTRICO**

por

**GABRIEL SILVESTRE MIRANDA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 14 de maio de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Me. José Roberto Okida**  
Orientador

**Prof. Dr. Mário José Van Thienen da Silva**  
Membro Titular

**Prof. Me. Ruimar Rubens de Gouveia**  
Membro Titular

**Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares**  
Responsável pelos TCC

**Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de  
Carvalho**  
Coordenador do Curso

Dedico este trabalho aos meus pais,  
minha principal inspiração. Por todos os  
conselhos, todas as conversas, todo  
investimento feito das mais diversas  
formas e todo o amor que depositam em  
mim. Não há palavras que possam  
explicar o amor, gratidão e admiração que  
sinto.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus e Nossa Senhora, pois sem Eles nada é possível. Agradeço por todas as bênçãos concedidas e tudo que tenho em minha vida.

Aos meus pais, Roseli Silvestre Miranda e Pedro Miranda, meus melhores amigos e exemplos de vida em todos os sentidos. Que durante toda a minha vida me ensinaram a importância da dedicação, determinação e disciplina para que se alcance qualquer coisa e durante todo o tempo me apoiam e incentivam em minha trajetória.

Aos meus amigos, que de alguma forma me apoiaram e ajudaram e alguns dos quais posso chamar de família. Dentre eles, um agradecimento especial ao Eduardo Campache Nogueira, meu primeiro amigo em Ponta Grossa e agora, meu irmão.

Aos meus professores, por compartilharem seus conhecimentos e mostrarem durante toda a graduação a importância da formação do Engenheiro Mecânico no mundo e as diversas formas de contribuição com a sociedade. De forma especial, ao meu orientador José Roberto Okida por toda paciência e por tudo que realizamos neste trabalho.

A equipe UTForce e-Racing, por me aceitar como integrante e proporcionar este desafio único, além de todo o conhecimento que adquiri ao longo do projeto. De forma, mais específica aos meus companheiros de área Jean Pires e Solmar Lurk.

O progresso não pode ser gerado quando  
estamos satisfeitos com as situações  
existentes. (OHNO, Taiichi)

## RESUMO

MIRANDA, Gabriel Silvestre. **Projeto e Desenvolvimento do Cockpit em um Fórmula SAE Elétrico**. 2021. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Em um ambiente de competição automobilística nacional para universidades, tem-se a categoria de carros estilo fórmula com motores elétricos. Dentro deste cenário está presente a equipe UTForce e-Racing, que representa a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo campus Ponta Grossa. Este trabalho refere-se ao desenvolvimento do *cockpit* do carro construído pela equipe para competição de 2019 e detalha o desenvolvimento do projeto e construção dos componentes do sistema. Para a concepção do carro como um produto de engenharia, o presente trabalho baseia-se no método de projeto de produto, onde foram realizados estudos de ergonomia, análises de materiais, aplicação de ferramentas de engenharia do produto e observação dos modelos anteriores da equipe para aplicar pontos de melhoria. Dessa forma, para entendimento claro e sequencial deste estudo, suas seções estão divididas entre os componentes que fazem parte do *cockpit*, sendo eles: banco, cinto de segurança, encosto de cabeça, painel, volante e firewall; englobando os principais pontos do regulamento SAE, as particularidades, os projetos e materiais utilizados para cada componente. Através disso, torna-se possível a análise de todo sistema do *cockpit* dentro do carro UTF 319 e sua concepção para competição F-SAE Brasil 2019.

**Palavras-chave:** *Cockpit*. Ergonomia. Carro elétrico. UTForce e-Racing. Fórmula SAE.

## ABSTRACT

MIRANDA, Gabriel Silvestre. **Cockpit Design and Development of a Formula SAE Electric Car**. 2021. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

In an environment of automobilist national competition for universities, there is a category for formula cars with electric engines. Within this scenario, exists the team UTForce e-Racing, which represents the Federal Technology University – Paraná through the Ponta Grossa campus. The present paper refers to the cockpit development of the car built by the team to the 2019 edition and details the project development and construction of the system component. Aiming at car conception as a product of engineering, this paper is based on the product design method, where ergonomic studies, materials analyses, application of product engineering methods, observation of the team's previous models aiming to apply points of improvement and benchmarking with teams from other universities were carried out. To assure a clear and sequential understanding of this study, the sections are divided between the components that are part of the cockpit, which are driver's seat, seatbelt, head restraint, dashboard, steering wheel, and firewall; encompassing the SAE regulation main points, the peculiarities, projects, and materials used for each one of the components. Through this, it is possible to analyze the entire cockpit system inside UTF 319 car and its conception for the F-SAE Brazil 2019 competition.

**Keywords:** *Cockpit*. Ergonomics. Electric Car. UTForce e-Racing. Formula SAE.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação Geral 16ª Competição Fórmula SAE Brasil 2019 .....	11
Figura 2 - Equipe UTForce e-Racing 2019.....	12
Figura 3 - Curva de distribuição de frequência.....	15
Figura 4 - Fatores importantes nos assentos de veículos .....	16
Figura 5 - Barras de Capotamento .....	18
Figura 6 - <i>Template</i> do Motorista .....	19
Figura 7 - <i>Template</i> Horizontal do <i>Cockpit</i> .....	20
Figura 8 - <i>Template</i> Vertical do <i>Cockpit</i> .....	21
Figura 9 - Posicionamento do Volante .....	24
Figura 10 - Organograma UTForce e-Racing.....	27
Figura 11 – Subdivisões do <i>Cockpit</i> .....	28
Figura 12 - Banco de Escritório .....	32
Figura 13 - Banco de Ônibus.....	33
Figura 14 – Perfil de banco pouco inclinado .....	34
Figura 15 – Perfil de banco muito inclinado .....	34
Figura 16 – <i>Template</i> de perfil pouco inclinado.....	35
Figura 17 – <i>Template</i> de perfil muito inclinado.....	35
Figura 18 – <i>Offset</i> do banco .....	39
Figura 19 - Projeto do banco.....	40
Figura 20 - Banco UTF 319.....	41
Figura 21 - Distribuição do cinto.....	42
Figura 22 – Distribuição do cinto.....	42
Figura 23 - Pontos de fixação do cinto .....	43
Figura 24 - Espuma Confor M CF-42 .....	43
Figura 25 - Suportes do encosto de cabeça UTF 319.....	44
Figura 26 - Encosto de cabeça UTF 319.....	44
Figura 27 – CAD do Painel 2018.....	45
Figura 28 – CAD do Painel UTF 319.....	45
Figura 29 – Painel UFT 319 .....	47
Figura 30 - CAD Volante 2019 (Frente).....	49
Figura 31 – CAD Volante 2019 (Atrás).....	49
Figura 32 – Volante UTF 319 .....	50
Figura 33 - Chapas do <i>Firewall</i> .....	51
Figura 34 - <i>Firewall</i> finalizado.....	51
Figura 35 - UTF 319 .....	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	10
1.1.1 Fórmula SAE Brasil.....	10
1.1.2 UTForce e-Racing.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos.....	13
<b>2 REFERENCIAL TEORICO .....</b>	<b>14</b>
2.1 ERGONOMIA.....	14
2.2 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO .....	16
2.3 ESTÍMULOS E NECESSIDADES.....	17
2.3.1 <i>Template</i> do Motorista .....	18
2.3.2 <i>Template</i> do <i>Cockpit</i> .....	19
2.3.3 Banco.....	21
2.3.4 Cinto de segurança.....	22
2.3.5 Encosto de cabeça .....	23
2.3.6 Painel.....	23
2.3.7 Volante.....	24
2.3.8 Firewall .....	25
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1 BANCO .....	28
3.2 CINTO DE SEGURANÇA.....	29
3.3 ENCOSTO DE CABEÇA.....	29
3.4 PAINEL .....	30
3.5 VOLANTE .....	31
3.6 <i>FIREWALL</i> .....	31
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1 BANCO .....	32
4.1.1 Melhor Alternativa .....	38
4.2 CINTO DE SEGURANÇA .....	41
4.3 ENCOSTO DE CABEÇA.....	43
4.4 PAINEL .....	45
4.4.1 Melhor Alternativa .....	46
4.5 VOLANTE .....	48
4.5.1 Melhor Alternativa .....	48
4.6 <i>FIREWALL</i> .....	50
4.6.1 Melhor Alternativa .....	50

<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A competição estudantil realizada anualmente e promovida pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) teve seu início nos Estados Unidos em 1981. A Fórmula SAE *Student* foi impulsionada por três grandes montadoras americanas: Chrysler, Ford e General Motors visando a encontrar novos engenheiros, com foco em alta performance, para as equipes. No Brasil, a competição é realizada desde 2004 e reúne equipes de diversas universidades do país. Atualmente, além de Brasil e Estados Unidos, a competição também ocorre na Alemanha, Austrália, Inglaterra e Itália (SAE, 2020).

#### 1.1.1 Fórmula SAE Brasil

A competição nacional Fórmula SAE Brasil ocorre uma vez ao ano e tem como objetivo avaliar o melhor projeto completo de um carro, nas modalidades de motor elétrico e à combustão, através de relatórios e provas, que são avaliados por engenheiros especializados na área.

A competição ocorre durante três dias e é composta por provas de categoria estática e dinâmica, além de apresentações de projeto como: Prova de Custos, Apresentação e *Design*. Todas as provas são avaliadas por jurados da área automobilística e possuem diferentes critérios para pontuação, visando a avaliar o carro como um produto completo de engenharia.

O evento ocorre no Esporte Clube Piracicabano de Automobilismo (ECPA) na cidade de Piracicaba - SP, e reúne equipes de todo o país. No ano de 2019, a competição contou com 20 equipes inscritas na categoria Fórmula Elétrico e a classificação geral está presente na figura 1.

**Figura 1 – Classificação Geral 16ª Competição Fórmula SAE Brasil 2019**

		16ª Competição Fórmula SAE BRASIL ELÉTRICO 2019 Classificação Geral											
Posição	Carro #	Equipe	Instituição de Ensino	Late Submission & Penalidades	Custos	Apresentação	Design	Aceleração	Skid Pad	Autocross	Enduro	Eficiência	Total
1	E01	Unicamp E-Racing	Universidade Estadual de Campinas		51,8	42,5	111,9	98,0	60,9	125,0	214,2	100,0	804,2
2	E06	B'Energy Racing	Faculdade de Engenharia de Sorocaba		43,7	26,4	69,0	100,0	75,0	51,0	163,1	97,8	625,9
3	E03	Fórmula FEI Elétrico	Centro Universitário FEI			13,7	59,5			124,3	275,0	97,1	569,6
4	E04	Ampera Racing	Universidade Federal de Santa Catarina		72,0	52,8	93,4		19,6				261,5
5	E02	Fórmula Tesla UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais		54,1	43,9	117,9			6,5			222,4
6	E05	EESC-USP Tupã	Escola de Engenharia de São Carlos - USP		55,4	75,0	75,5						205,9
7	E08	Cheetah E-Racing	Universidade Federal de Itajubá		55,1	65,0	70,5						190,6
8	E09	Faraday E-Racing	Universidade Federal Fluminense		82,5	22,5	72,0						177,0
9	E11	UFPR Fórmula	Universidade Federal do Paraná		34,7	40,4	49,5						124,6
10	E07	Minerva eRacing	Universidade Federal do Rio de Janeiro	-100	51,4	50,2	54,5						56,1
11	E10	Fórmula CEM	Universidade Federal de Santa Catarina		27,5	20,4							47,9
12	E13	UTForce e-Racing	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	-50			41,0						0,0
12	E14	FGR	Universidade de Brasília	-50		12,8							0,0
12	E15	e-Power UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	-250									0,0
12	E16	E-Force	Universidade do Estado de Santa Catarina	-50		19,7							0,0
12	E17	Dinamo	Universidade Federal de São Carlos	-50		25,8							0,0
12	E18	Avant E-Racing	Centro Universitário Uniavan	-200		15,1							0,0
12	E19	EVolt Racing UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco	-300		31,9							0,0
12	E21	Hybrid Fórmula-e Team	Universidade de Federal de Lavras	-150									0,0
12	E22	Capibarib-E Racing	Universidade Federal de Pernambuco	-150									0,0

Fonte: SAE (2019)

### 1.1.2 UTForce e-Racing

A equipe UTForce e-Racing foi fundada no ano de 2015, sendo a primeira equipe de fórmula elétrico do estado do Paraná, e participou de três competições nacionais (2017, 2018 e 2019) até o momento de confecção do presente trabalho, representando a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (campus Ponta Grossa).

Como todo projeto de extensão, o foco é o aprendizado e a aplicação prática de conceitos abordados em sala de aula, visando a melhorar os projetos de anos anteriores e obter ainda mais êxito no cenário nacional. O carro UTF319, terceiro carro construído pela equipe está representado na figura 2.

Figura 2 - Equipe UTForce e-Racing 2019



Fonte: UTForce e-Racing (2019)

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Na fórmula SAE, a evolução das equipes deve ser constante e fomentar com isso a evolução da própria engenharia. Baseado nisso, é necessário a melhoria do sistema de *cockpit*, visando melhorias na ergonomia do carro para que o piloto tenha conforto e segurança ao conduzir o veículo, atendendo ao regulamento SAE Brasil.

Dessa forma, e com o trabalho conjunto com a eletrônica embarcada, é possível melhorar o desempenho do carro nas provas dinâmicas.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tinha por objetivo geral projetar e desenvolver o *cockpit* do carro UTF 319, da equipe UTForce e-Racing, que representa a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Ponta Grossa na categoria de carros elétricos estilo fórmula da competição nacional SAE Brasil.

O desenvolvimento do *cockpit* é composto pelo projeto do banco, encosto de cabeça, volante, painel, firewall (parede corta chamas) e cinto de segurança.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

São disposições que, em conjunto, irão permitir que o objetivo geral seja alcançado. Trata-se então dos objetivos específicos, analisar as particularidades de projeto de cada um dos componentes do *cockpit*.

Visando a alcançar o objetivo de desenvolvimento de *cockpit* de um fórmula SAE elétrico, tinha-se como objetivos específicos:

- Determinar os requisitos do projeto
- Analisar e selecionar materiais
- Modelar, em software de desenho, cada um dos componentes para verificar sua viabilidade de construção

## 2 REFERENCIAL TEORICO

Nesta parte são abordados conceitos, conhecimentos e definições necessários para o entendimento teórico do tema do trabalho.

### 2.1 ERGONOMIA

Para entender o desenvolvimento do *cockpit*, é necessário conhecer o que é a ergonomia, como ela se relaciona com o carro e qual sua importância para o projeto.

A Ergonomia (ou Fatores Humanos) é uma disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e métodos a projetos a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema. (ABERGO, 2000)

A partir do surgimento e conseqüente evolução dos conceitos e ferramentas da ergonomia entende-se, segundo Souza (2019), que o projeto de uma máquina deixa de ser uma atividade isolada e torna-se uma solução que deve complementar a ação do ser humano.

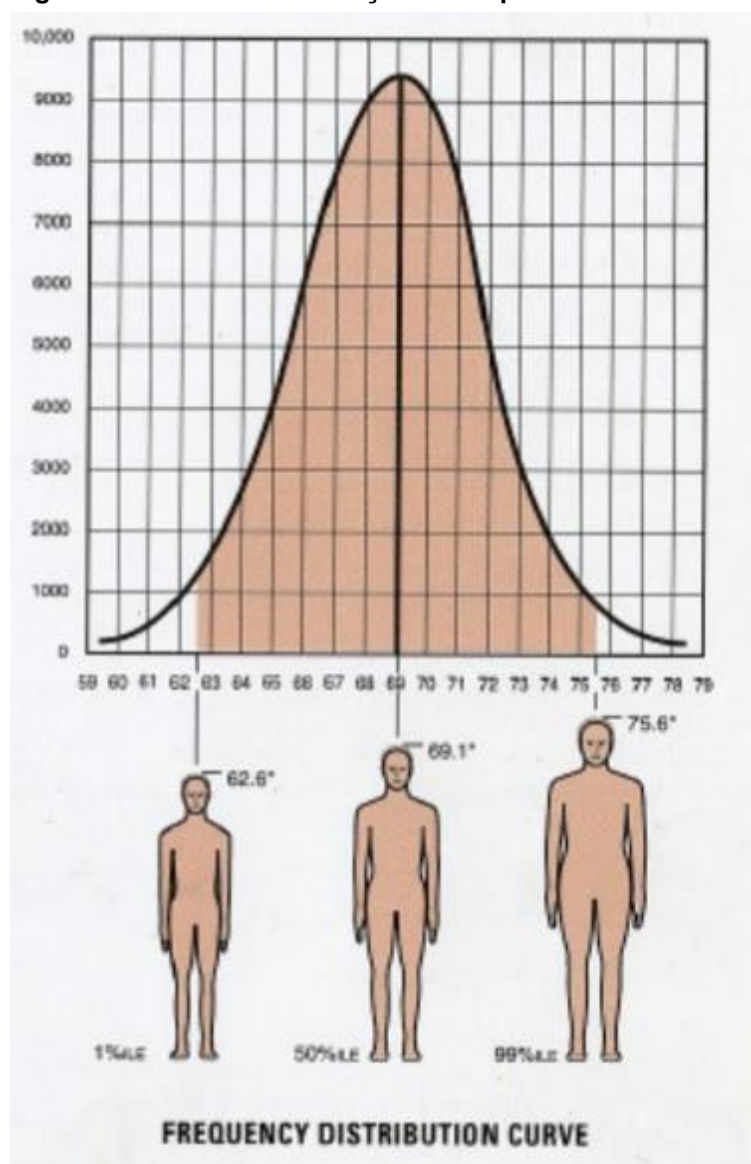
Além disso, com a crescente aplicação da ergonomia em projetos industriais, tem-se uma vertente que se dedica a estudar a ergonomia dos produtos, que analisa os problemas e necessidades que devem ser abordados. De acordo com Falzon (2007), para que se tenha uma maior assertividade, o desenvolvimento de um produto com base na ergonomia deve considerar a concepção, fabricação, utilização e destinação final. Baseado nisso, o autor considera alguns critérios que devem ser levados em conta durante o projeto, que terão sua importância e relevância variáveis de acordo com o produto que está sendo desenvolvido; entre eles estão a segurança, eficácia, utilidade, tolerância a erros e o conforto do piloto.

Trazendo essas definições para o contexto do trabalho, deve-se analisar a ergonomia do piloto dentro do *cockpit* e segundo a SAE (2019), essa deve ser projetada visando a atender o 95º percentil masculino e o 5º percentil feminino. Percentis, de acordo com Tilley (2005), são gerados quando se plotam em um gráfico as medidas do corpo no eixo x e a frequência com que ocorrem no eixo y, gerando



assim uma curva de distribuição, como a mostrada na figura 3. O percentil 95º masculino, por exemplo, significa que os valores englobam 95% da população masculina, excluindo 2,5% das menores medidas e 2,5% das maiores medidas. Ainda segundo Tilley (2005), é inviável fazer um projeto que englobe a totalidade da população, já que o projeto se tornaria grande ou caro demais.

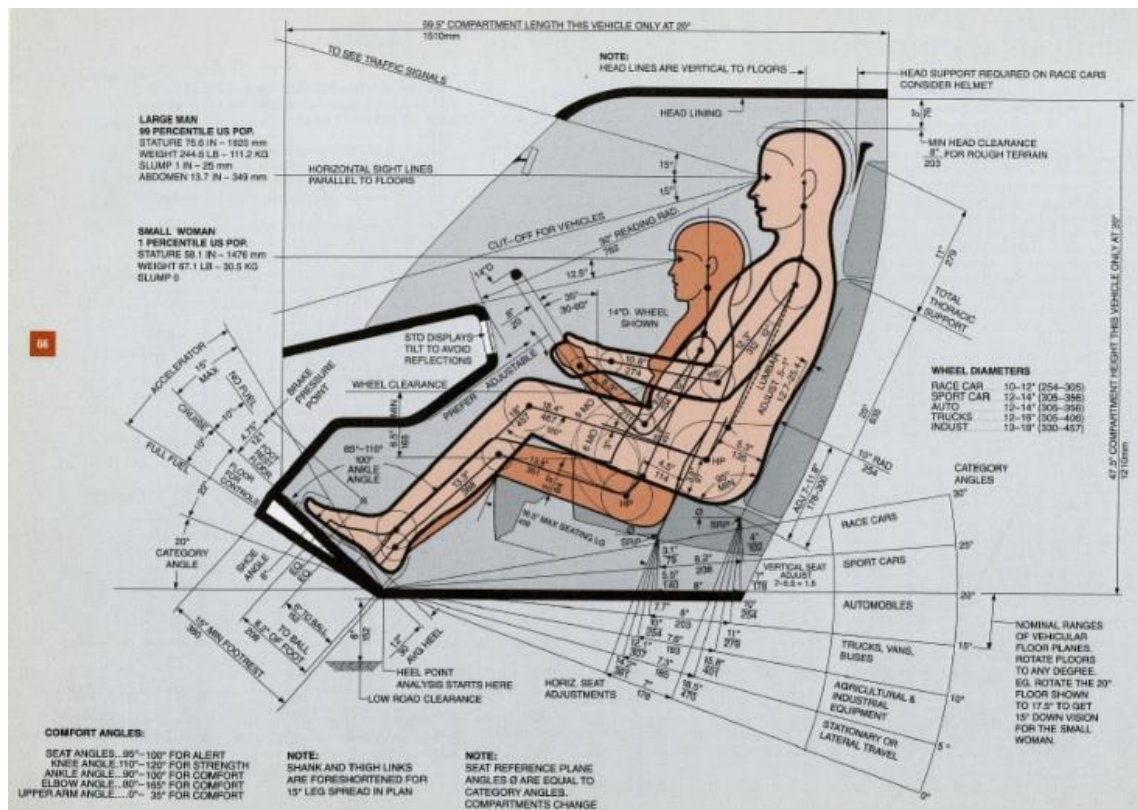
**Figura 3 - Curva de distribuição de frequência**



Fonte: Tilley (2005, p.11)

Um fator importante a ser analisado é a posição do piloto dentro do *cockpit*, ou seja, a posição do banco, pois essa é fundamental para seu conforto e bom desempenho. Na obra de Tilley (2005) é possível encontrar um diagrama, presente na figura 4, com as inclinações recomendadas dos assentos em diversos tipos de veículos, visando a atender às necessidades da maior parte da população.

Figura 4 - Fatores importantes nos assentos de veículos



Fonte: Tilley (2005, p. 65)

Através desse diagrama, pode-se ter uma noção de quais ângulos para o tornozelo, joelho, coxas e coluna são considerados ângulos ótimos para direção. Além disso, conclui-se que a posição do banco para o carro UTF 319 deve ser a mais extrema proposta por Tilley (2005), que é a posição ideal de inclinação para carros de corrida.

## 2.2 DESENVOLVIMENTO DE PROJETO

Baseando-se na definição de ergonomia e na ideia principal da competição da SAE, que é o desenvolvimento do carro como um produto de engenharia, pode-se desmembrar o desenvolvimento de cada sistema do carro e aplicar a todos eles metodologias e ferramentas de engenharia do produto. Isso permite que cada área tenha independência para desenvolver seus projetos, porém sempre em contato com as áreas relacionadas para caminharem juntas.

Com base nessa ideia, o *cockpit* foi projetado utilizando conceitos desenvolvidos por Gerard Pahl e Wolfgang Beitz (2005) para projetos de engenharia:

a primeira fase do projeto é o planejamento, onde deve-se analisar as necessidades a serem atendidas.

A segunda parte, chamada de projeto conceitual, consiste em gerar soluções para o problema em questão baseando-se na análise da função do produto, podendo subdividir o problema, caso este seja muito complexo.

Após gerar soluções para cada um dos subproblemas foi feita uma análise de cada um deles, na etapa chamada de projeto preliminar, onde acontecem diversas tarefas ao mesmo tempo. De acordo com Borges e Rodrigues (2010), a “identificação de requisitos determinantes [...]; avaliação de anteprojetos preliminares por meio de critérios preestabelecidos [...] e detalhamento dos anteprojetos selecionados, avaliando também sua viabilidade técnica e econômica” são os pontos fundamentais a serem realizados nesta fase para que se tenha um projeto básico preliminar bem estruturado.

A última etapa, de acordo com Pahl e Beitz (2005), é o projeto detalhado e é onde ocorrem revisões de tudo que foi feito até o momento e do projeto preliminar, visando a garantir que o problema principal seja resolvido da melhor forma. Nessa etapa de análise foram feitas as decisões de material, projeções de custos e formas de construção.

Ainda segundo Pahl e Beitz (2005), o desenvolvimento de um novo produto é sempre acompanhado de estímulos desencadeados pela necessidade. Esses estímulos podem ter diversas fontes, porém, no caso deste trabalho, foram provenientes da própria equipe e destacam-se o aproveitamento de ideias e resultados de projetos anteriores de forma a entender seus pontos positivos e pontos passíveis de melhoria, acréscimo de funções e ferramentas visando a deixar o produto mais competitivo no cenário analisado e aproveitamento da estrutura da equipe para desenvolver um processo de fabricação otimizado e consistente.

## 2.3 ESTÍMULOS E NECESSIDADES

Nesta etapa, são abordados os pontos mais importantes da 16ª Competição Fórmula SAE Brasil que dizem respeito ao sistema de *cockpit*. Todos esses pontos foram retirados do próprio site da SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa) e se

enquadram como necessidades do projeto. Também são abordados os estímulos identificados para cada componente do *cockpit*, provenientes da própria equipe.

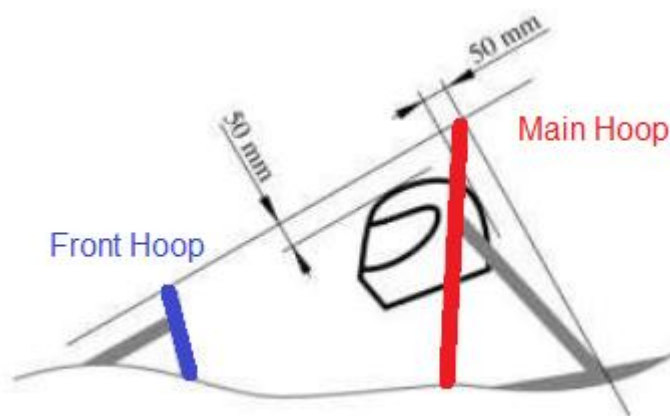
T.2.1.4 *Main Hoop* - Uma barra circular localizada ao lado ou logo atrás do tronco do motorista.

T.2.1.5 *Front Hoop* – Uma barra circular localizada acima das pernas do motorista, nas proximidades do volante.

T.2.1.8 *Front Bulkhead* – Uma estrutura plana que fornece proteção para os pés do motorista.

Os conceitos citados acima, podem ser observados na figura 5.

**Figura 5 - Barras de Capotamento**



Fonte: Adaptado de SAE (2018, v 2.1, p. 25)

### 2.3.1 *Template* do Motorista

O *template*, ou modelo do motorista, é um conjunto de círculos ligados por retas através de seus centros, que representa o percentil 95º masculino de e deve ser construído de acordo com o regulamento SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa) abaixo e presente na figura 6.

Um modelo bidimensional usado para representar o 95º percentil masculino é feito para as seguintes dimensões:

Um círculo de diâmetro de 200 mm representará os quadris e nádegas.

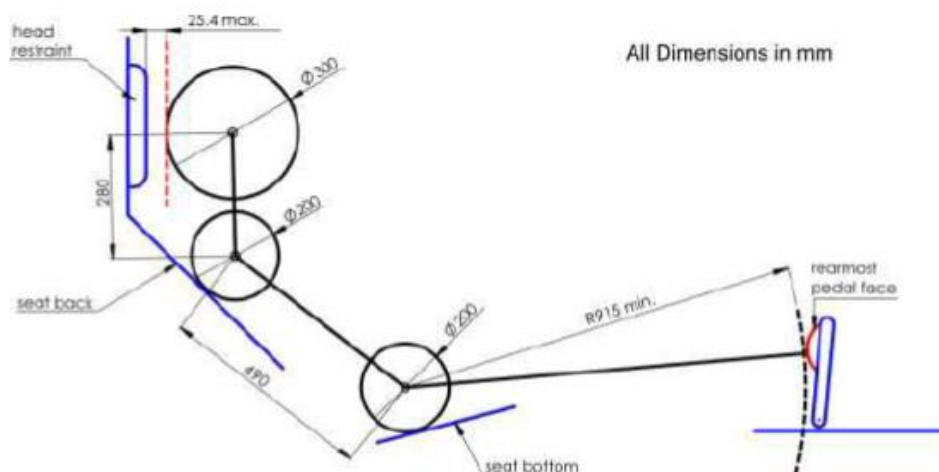
Um círculo de diâmetro de 200 mm representará a região do ombro/cervical.

Um círculo de diâmetro de 300 mm representará a cabeça (com capacete).

Uma linha reta de 490 mm conectará os centros dos dois círculos de 200 mm.

Uma linha reta de 280 mm conectará os centros do círculo superior de 200 mm e o círculo de cabeça de 300 mm.

**Figura 6 - Template do Motorista**



Fonte: SAE (2018, v 2.1, p. 26)

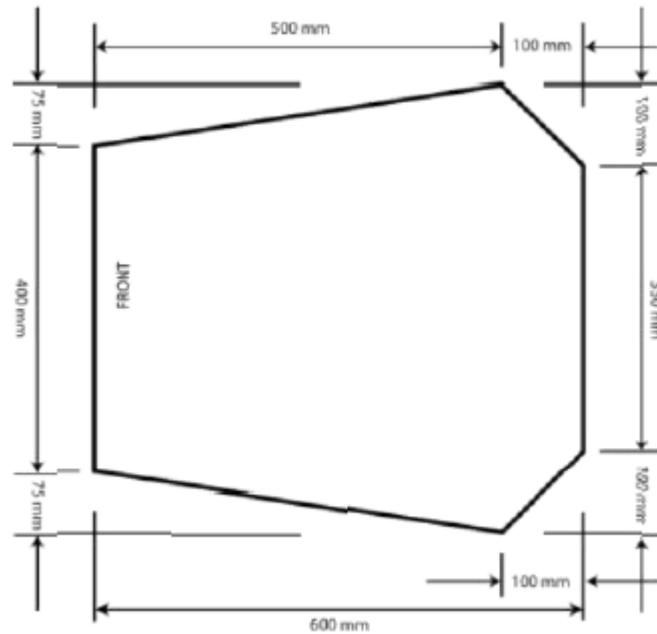
### 2.3.2 Template do Cockpit

O *template*, ou modelo do *cockpit*, nada mais é do que duas figuras planas e bidimensionais, representadas nas figuras 9 e 10, que devem entrar no espaço em questão de acordo com os pontos do regulamento SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa) abaixo:

T.3.1.1 O modelo, mostrado na figura 7, deve caber na abertura do *cockpit*.

T.3.1.2 O modelo da figura 7 será mantido na horizontal, paralelo ao solo e inserido verticalmente a partir de uma altura acima de qualquer Estrutura Primária ou da carroceria que esteja entre o *Front Hoop* e o *Main Hoop* até que passe abaixo da barra superior da *Side Impact Structure*.

**Figura 7 - Template Horizontal do Cockpit**

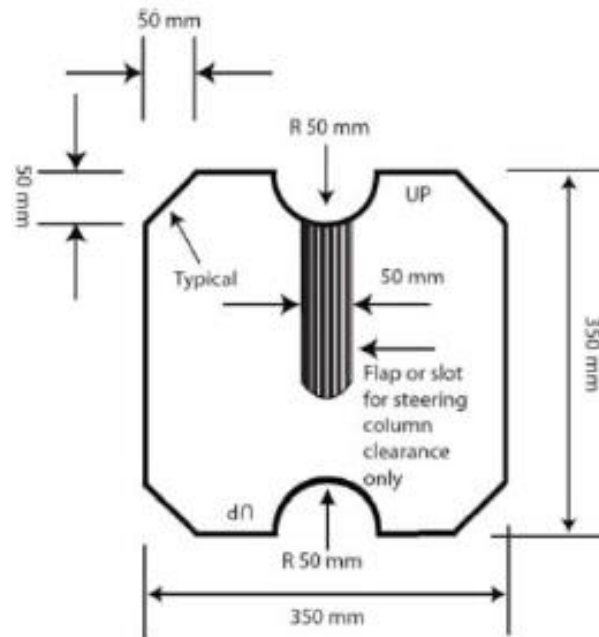


**Fonte: SAE (2018, v 2.1, p. 42)**

T.3.2.2.a. O modelo, mostrado na figura 8, será mantido verticalmente e inserido na abertura do *cockpit* para trás da parte mais traseira da coluna de direção.

T.3.2.2.b. O modelo da figura 9 será então passado horizontalmente através do *cockpit* até um ponto a 100 mm atrás da face do pedal mais recuado quando estiver na posição inoperante.

**Figura 8 - Template Vertical do Cockpit**



Fonte: SAE (2018, v 2.1, p. 43)

T.3.8.1 O motorista deve ter visibilidade adequada da frente e dos lados do veículo.

T.3.8. Quando sentado em uma posição de condução normal, o motorista deve ter um campo de visão mínimo de 100° para ambos os lados.

### 2.3.3 Banco

O assento do motorista é um componente básico em praticamente todos os tipos de veículos. É um item que deve oferecer conforto e segurança ao pilotar e seu projeto deve obedecer aos pontos do regulamento FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa):

T.3.3.1 O assento do motorista deve estar protegido por um dos seguintes:

a. Na vista lateral, o ponto mais baixo do banco do condutor não deve ser inferior à superfície inferior da base do chassi

b. Um tubo longitudinal (ou tubos) que atenda aos requisitos da tubulação do *Side Impact*, passando por baixo do ponto mais baixo do assento

T.3.3.2 Quando sentado na posição de condução normal, deve ser fornecido isolamento térmico adequado para garantir que o condutor não irá entrar em contato com nenhum metal ou outros materiais que possam ser aquecidos a uma temperatura de superfície acima de 60° C.

T.3.3.3 O isolamento pode ser externo ao cockpit ou incorporado ao banco do motorista ou ao *firewall*.

## 2.3.4 Cinto de segurança

O cinto de segurança é um dos principais componentes de segurança do veículo. Na fórmula SAE, pode-se ter de 5 a 7 pontos de fixação, de acordo com o tipo de veículo e inclinação do banco. Os requisitos do modelo do cinto de segurança são abordados no regulamento SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa) abaixo e a escolha do modelo fica a critério de cada equipe.

T.4.2.5 Veículos com uma posição de condução reclinada devem ter:

a. Um cinto de 6 ou 7 pontos

T.4.1.1.b. Sistema de 6 pontos - consiste de dois cintos de segurança, duas alças de ombro e duas alças ou cintas anti-submarinas.

T.4.1.1.c. Sistema de 7 pontos - consiste em dois cintos de segurança, duas cintas de ombro, duas cintas de perna ou anti-submarino e uma cinta g ou z negativa.

T.4.4.1 Os cintos de segurança devem passar pela área pélvica abaixo dos espinhos ilíacos anterossuperiores (os ossos do quadril).

T.4.4.2 Os cintos de segurança não devem ser passados pelas laterais do assento. As correias devem passar pelo assento na parte inferior das laterais do assento e continuar em linha reta até o ponto de ancoragem.



### 2.3.5 Encosto de cabeça

O encosto de cabeça deve ser posicionado acima do assento do motorista, para que o movimento da cabeça para trás seja limitado e deve seguir os seguintes pontos do regulamento SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa):

T.4.7.1 Um apoio de cabeça deve ser fornecido para limitar o movimento de recuo da cabeça do motorista.

T.4.7.2 O apoio de cabeça deve ser vertical ou quase vertical na vista lateral.

T.4.7.3 O preenchimento do encosto de cabeça deve:

a. Ser um material absorvedor de energia que atenda ao *SFI Spec 45.2* ou esteja listado na Lista Técnica No. 17 da FIA como um “Material Tipo B para carros monolugares”: CONFOR M espuma CF-42 (rosa) ou CF-42M (rosa). CF-42AC (rosa) é aceitável.

b. Tenha uma espessura mínima de 38 mm

c. Tenha uma largura mínima de 15 cm

d. Ter uma área mínima de 235 cm<sup>2</sup> e ter um ajuste de altura mínimo de 17,5 cm, ou ter uma altura mínima de 28 cm

### 2.3.6 Painel

O painel é um elemento que deve combinar ergonomia, conforto e resistência. Essa combinação é fundamental para resistir a eventuais choques mecânicos com as pernas no condutor e viradas abruptas do volante e ao mesmo tempo garantir que o acionamento ou manuseio dos componentes contidos nele possa ser feito de forma rápida, fácil e segura pelo do motorista.

### 2.3.7 Volante

O volante é um componente que combina elementos das áreas de mecânica e elétrica. Esse item deve proporcionar ao motorista firmeza e segurança, para que seja possível acionar todos os elementos de eletrônica embarcada sem que se tire as mãos do volante. Logo, por sua importância no sistema de direção, possui algumas diretrizes presentes no regulamento SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa) que as equipes devem cumprir em seus projetos:

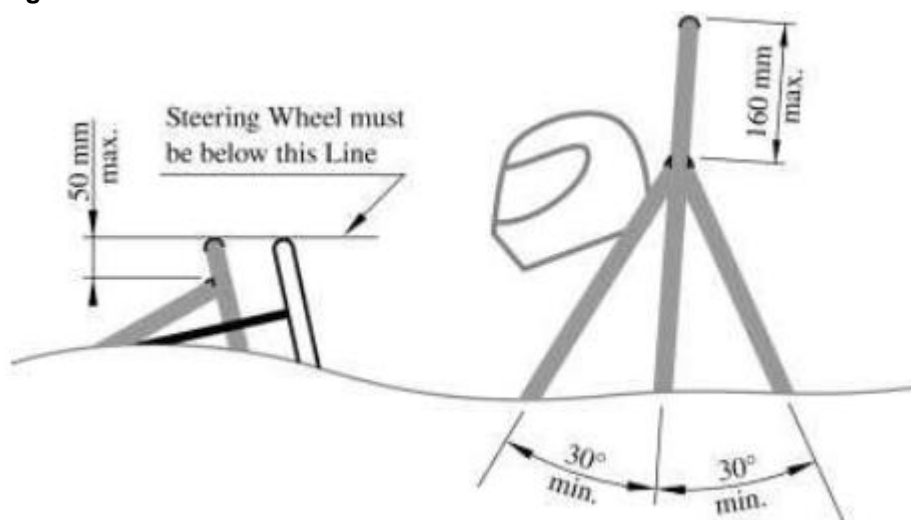
T.1.6.6 O volante deve estar preso à coluna com uma desconexão rápida. O motorista deve poder operar a desconexão rápida enquanto estiver na posição de condução normal com luvas.

T.1.6.8 Em qualquer posição angular, a parte superior do volante não deve ser maior do que a superfície mais alta do *Front Hoop*.

T.2.12.5 O *Front Hoop* não deve estar a mais de 250 mm à frente do volante.

Esses tópicos são demonstrados na figura 9, retirada do regulamento SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa)

**Figura 9 - Posicionamento do Volante**



Fonte: SAE (2018, v 2.1, p. 27)

### 2.3.8 Firewall

Componente obrigatório em carro de fórmula SAE, categorias elétrico e combustão, é uma camada que deve isolar o motorista do sistema de motor do carro. Deve estar presente para garantir que em caso de acidentes, o motorista não seja atingido por chamas provenientes da parte traseira do veículo e os principais quesitos para seu projeto são abordados no regulamento SAE (FSAE, 2018, v 2.1, tradução nossa):

T.3.5.1 Um *firewall* deve separar o compartimento do motorista de todos os componentes do suprimento de combustível, do óleo do motor, dos sistemas de refrigeração líquida, de quaisquer baterias de lítio e de qualquer sistema de alta tensão.

T.3.5.2 O *firewall* deve atender os seguintes pontos:

- a. Uma superfície não permeável feita de um material rígido e resistente ao fogo.
- b. Estenda-se suficientemente para cima e/ou para trás, de modo que qualquer ponto a menos de 100 mm acima do fundo do capacete do condutor mais alto não esteja em linha direta com qualquer parte do sistema de combustível, sistema de arrefecimento ou sistema de óleo do motor
- c. Selar completamente contra a passagem de fluidos (o próprio *firewall* e as bordas)
- d. Passar por fiação, cabos, etc. pode ser usado, se ilhós são usados para selar a passagem
- e. Os cintos de segurança não devem passar pelo *firewall*

T.3.6.1 Um *firewall* deve separar o compartimento do driver de todos os componentes do sistema de tração, incluindo qualquer fiação de alta tensão.

T.3.6.2 O *firewall* do sistema de tração deve ser composto por duas camadas, conforme descrito abaixo.

T.3.6.3 Uma camada, voltada para o lado do sistema de tração, deve ser:

- a. Fabricado em alumínio com espessura entre 0,5 e 0,7 mm

T.3.6.4 A segunda camada, voltada para o motorista, deve ser:

- a. Feita de um material eletricamente isolante, que atenda UL94-V0, FAR25 ou equivalente. A segunda camada não deve ser feita de CFRP.

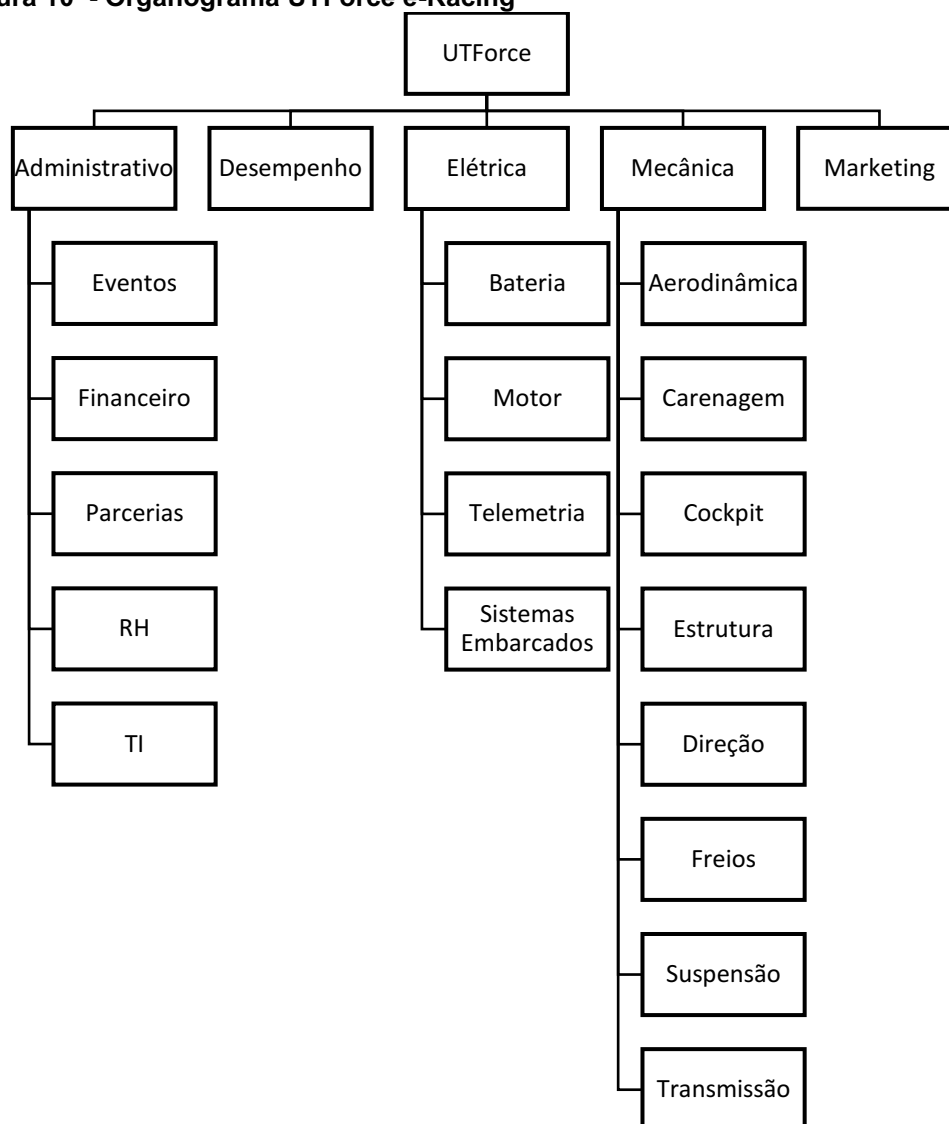
- b. Espessura suficiente para impedir a penetração desta camada com uma chave de fenda de 4 mm de largura e 250 N de força.

T.3.6.5 O *firewall* deve ser rigidamente montado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Fazem parte da equipe UTForce e-Racing aproximadamente 50 alunos dos diversos cursos de engenharia e tecnologia ofertados pelo campus, que se organizam dentro das áreas da equipe, conforme figura 10, de acordo com seus interesses e aptidões para desenvolver um carro de fórmula *student* movido por um motor elétrico.

**Figura 10 - Organograma UTForce e-Racing**



**Fonte: Utforce e-Racing (2019)**

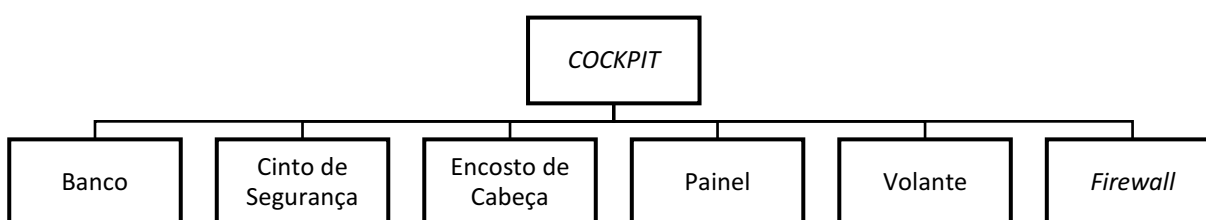
O foco deste trabalho foi o desenvolvimento do *cockpit*, ou cabine do piloto. A área do *cockpit* é responsável por projetar e desenvolver tudo aquilo que fica ao redor do piloto, sendo o elo que conecta piloto, parte mecânica e parte elétrica do carro. De forma mais específica, o *cockpit* é responsável pela ergonomia do piloto e visa, além

de atender aos requisitos do regulamento, atingir uma integração completa e harmônica com todos os sistemas do carro.

O projeto do *cockpit* de um fórmula SAE elétrico foi realizado na equipe UTForce e-Racing, através do estudo do regulamento da competição da SAE para identificar os principais pontos a serem entendidos, dos conceitos de ergonomia e da análise de carros anteriores da equipe UTForce e-Racing.

Como o *cockpit* é um sistema complexo, ele foi subdividido em seis partes, cujos projetos podem ser desenvolvidos de forma independente, de acordo com a figura 11:

**Figura 11 – Subdivisões do *Cockpit***



**Fonte: UTForce e-Racing (2019)**

Utilizou-se a metodologia de Pahl e Beitz para o projeto dos componentes que formam o *cockpit*, através da análise das demandas, aplicação de matrizes de decisão, projetos em CAD e sincronização com as outras áreas, a fim de se gerar soluções e encontrar a melhor alternativa para cada item. Alguns itens, como cinto de segurança e encosto de cabeça, tiveram seus projetos realizados de forma mais rápida e simples, visto que o regulamento SAE é bem específico e restritivo nesses pontos, devido à alta importância que ambos exercem para a segurança do piloto.

### 3.1 BANCO

O ponto inicial para o projeto do banco é a análise do seu perfil. O tipo de perfil e sua inclinação são pontos cruciais para um fórmula SAE elétrico, pois além de ter impacto direto no desempenho do piloto, influenciam diretamente projetos de outras áreas, como freios e direção, por exemplo.

As inspirações iniciais foram bancos de escritório e bancos de ônibus, pois possuem perfis confortáveis e construção simples, o que os torna bons pontos de partida para o projeto.

Tendo como um de seus pontos principais a análise da ergonomia, foram elaborados alguns tipos de perfis de banco para análise, através do software de modelagem *SolidWorks*. Após o desenho, os perfis foram analisados em conjunto com o *template* de piloto da SAE, dessa forma foi possível observar os comportamentos dos perfis em relação as alturas demandadas do *front hoop* e *main hoop*.

Outros pontos importantes a serem analisados são os materiais e a forma de construção utilizada. Nos anos anteriores, a equipe UTForce e-Racing havia construído os bancos através de processos de laminação e utilizando a fibra de vidro.

Foi feito um estudo dos principais compósitos utilizados no meio automotivo, suas composições e propriedades. A análise das propriedades e comportamento de cada material mostra qual compósito é mais indicado para cada parte do veículo. Essa escolha foi feita através de uma matriz de decisão, ferramenta que permite que sejam comparadas as principais características dos materiais analisados e atribuídas notas para cada uma delas, de acordo com sua significância. A partir disso, é feito um somatório das notas para cada item analisado e o que tiver maior pontuação é o mais adequado para o projeto.

### 3.2 CINTO DE SEGURANÇA

Conforme o regulamento SAE descreve, as equipes podem escolher o modelo do cinto de segurança que será utilizado, desde que o modelo adotado cumpra com os requisitos da competição nacional.

Para definir os pontos de entrada do cinto no banco e fixação do cinto na estrutura é necessário entender como o cinto se comportará no piloto. Sendo assim, foram tiradas fotos dos pontos de engate do carro de 2018, com piloto, para entender como o cinto se distribui.

### 3.3 ENCOSTO DE CABEÇA

A função do encosto de cabeça é importante para a segurança, pois ele é o responsável por limitar o recuo da cabeça do motorista e em caso de algum acidente,

evitar o “efeito chicote”, que de acordo com Kushibara (2020) ocorre quando o pescoço se desloca de forma repentina para frente ou para trás devido a algum impacto.

O regulamento SAE permite uma pequena gama de espumas para a confecção do encosto. Neste sentido havia sido escolhida uma espuma dentre as opções disponíveis possíveis, por algumas equipes nacionais, para construção de seus encostos em 2018. O restante do regulamento referente ao encosto de cabeça discorre sobre seu formato e seu posicionamento na estrutura.

Os suportes, usados para fixar a espuma no chassi, foram modelados no software *SolidWorks*.

### 3.4 PAINEL

O regulamento SAE não possui tópicos específicos em relação ao painel dos veículos, o que dá ao projetista uma maior liberdade para adequar da forma que julgar melhor o painel no *cockpit*.

Dessa forma, tinham-se duas preocupações principais em relação ao painel: a primeira era deixá-lo com uma altura menor que a dos anos anteriores para aumentar o conforto do piloto dentro do *cockpit* e também facilitar sua saída. A segunda preocupação era fazê-lo de um material e de uma forma que pudesse ser reaproveitado nos próximos anos, pois assim a equipe já teria um item validado para utilizar em projetos futuros e não precisaria dispor de recursos com um novo projeto de painel.

A questão da durabilidade está diretamente relacionada com o material utilizado. Para a definição do material, foi feita nova matriz de decisão, com a análise das propriedades mais importantes para um painel. De forma análoga a matriz que desenvolvida para o banco, foram atribuídas notas para cada requisito e feito um somatório ao final.



### 3.5 VOLANTE

O ponto de comunicação entre o piloto e o carro possui algumas exigências do regulamento que se deve cumprir, principalmente no que tange ao seu tamanho e posicionamento.

Além de atender aos pontos do regulamento, o volante do carro UTF 319 da equipe UTForce F-SAE e-Racing possui dados de eletrônica embarcada, através de uma tela de lcd. O objetivo disso é facilitar a visão do piloto dos comandos que, em anos anteriores, ficava no painel e também facilitar sua navegação pelas “telas” do lcd.

### 3.6 FIREWALL

O *firewall* é um projeto tecnicamente simples de ser feito, porém suscetível a erros, pois deve seguir à risca o regulamento e principalmente garantir a isolação completa entre piloto e zonas de calor e sistemas de *high voltage*.

Visando a atender aos pontos do regulamento, o *firewall* foi projetado em duas partes, para facilitar a fixação delas no chassi e também garantir uma melhor isolação do piloto.

## 4 RESULTADOS

Baseando-se no que foi descrito até o momento e seguindo a linha da metodologia experimental, levando em conta os pontos do regulamento que devem ser obedecidos, tem-se os resultados do projeto do *cockpit*.

Aqui serão apresentados a determinação dos requisitos de projeto, a modelagem e construção para os subsistemas do *cockpit*, a fim de facilitar a compreensão do trabalho.

### 4.1 BANCO

O ponto de partida para elaboração do projeto, como descrito na metodologia, foram bancos confortáveis, de geometria e construção simples, como bancos de escritório e de ônibus, conforme os exemplos das figuras 12 e 13.

**Figura 12 - Banco de Escritório**



**Fonte: Acervo pessoal**

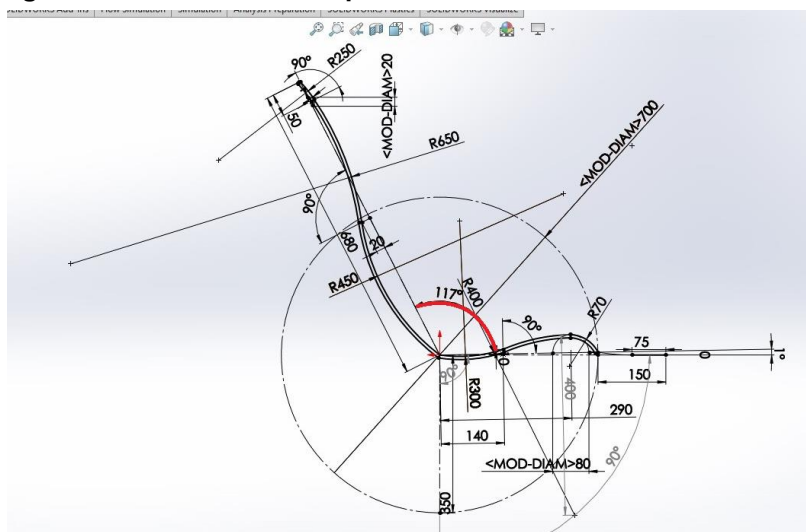
**Figura 13 - Banco de Ônibus**

**Fonte: Acervo pessoal**

Partindo dessas referências e através de testes realizados por alunos da equipe, verificou-se que ângulos mais abertos são mais confortáveis. Assim optou-se por deixar o perfil o mais isento de ângulos agudos (menores que  $90^\circ$ ) possível, de forma que o piloto se mantenha focado apenas na direção e não se importe com possíveis desconfortos ergonômicos.

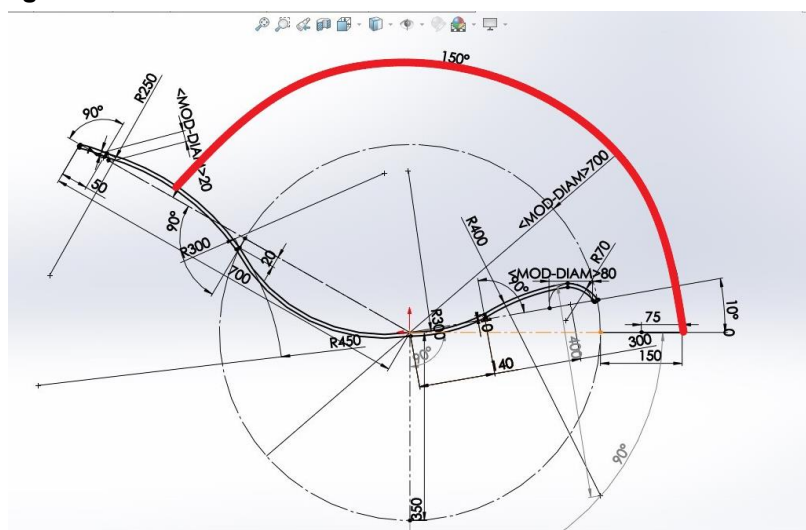
Os perfis elaborados a partir disso, através do software de modelagem em CAD, são representados nas figuras 14 e 15 com os ângulos que definem a inclinação destacados em vermelho, onde é possível observar a preferência por ângulos maiores e que a principal diferença entre eles é a inclinação.

**Figura 14 – Perfil de banco pouco inclinado**



Fonte: Autoria própria

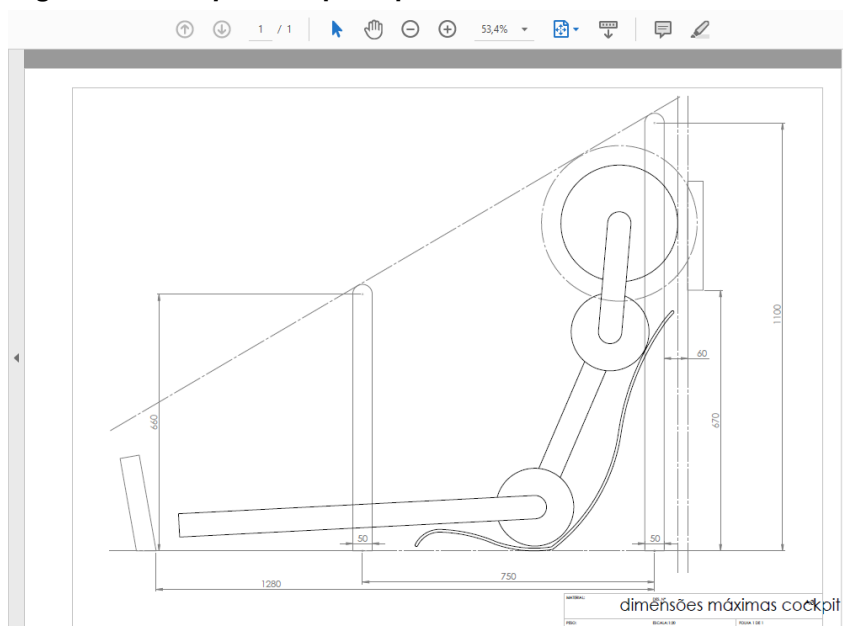
**Figura 15 – Perfil de banco muito inclinado**



Fonte: Autoria própria

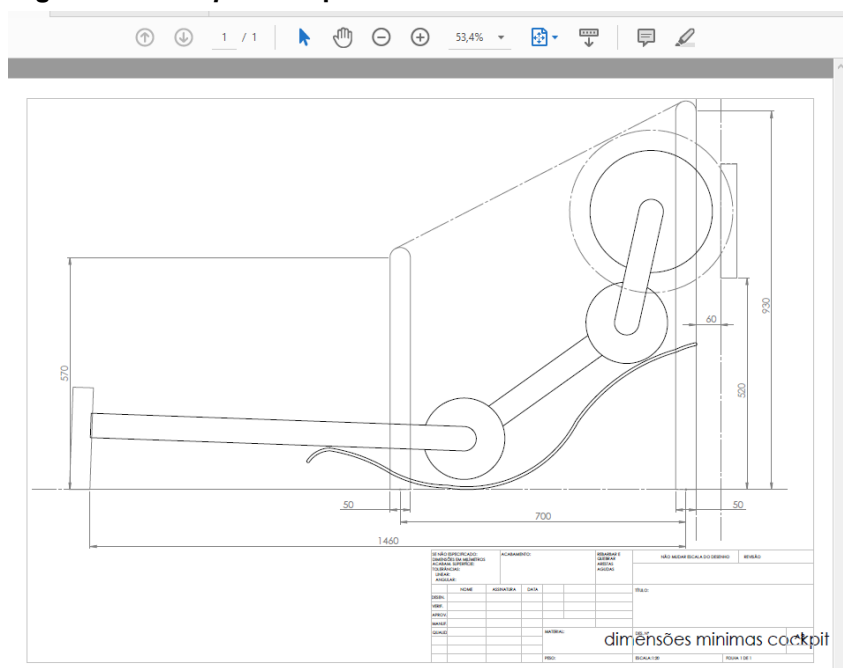
Após o desenho de perfil, ambos foram analisados com o *template* de piloto da SAE, mostrado na figura 6, para entender o comportamento de cada um em relação as alturas demandadas do chassi, principalmente em *front hoop* e *main hoop*, como pode-se observar nas figuras 16 e 17.

**Figura 16 – Template de perfil pouco inclinado**



Fonte: Autoria própria

**Figura 17 – Template de perfil muito inclinado**



Fonte: Autoria própria

Analisando os materiais e a forma de construção a serem empregados no projeto do banco e lembrando que os bancos de anos anteriores da equipe foram construídos através de processos de laminação e utilizando fibra de vidro, entendeu-se que esse método havia se mostrado interessante, porém foi ineficiente em anos anteriores. Essa ineficiência e resultado final distante do desejado, apesar do método

ser bom, tinha como sua causa raiz a falta de treinamento da equipe para lidar com materiais compósitos, sobrecarregando o membro responsável pela área. Esses resultados anteriores, mostraram que além da laminação, um método automatizado, como CNC, seria outra solução interessante para a construção do banco.

Em relação ao material, os projetos dos anos anteriores, não apresentavam resistência e durabilidade ao longo dos meses. Tornou-se então, interessante o estudo de viabilidade de uso de outros materiais compósitos, como fibra de carbono e fibra de aramida. Um compósito é formado através da união de materiais, que são não solúveis entre si, e visa a obter um material com qualidade melhorada em relação aos originais. As fibras são unidas entre si por uma resina, que liga as fibras na forma de fios, dando forma e distribuindo força ao novo material.

No quadro 1 tem-se os principais compósitos utilizados no meio automotivo, suas composições e propriedades. Os valores mostrados não são um padrão e sim os valores dos materiais utilizados nesse projeto. Esses valores sofrem variações de acordo com a resina, o tipo de tecelagem empregado, a relação fibra x compósito utilizada e a marca. Os valores dispostos aqui são os referentes aos materiais que o fornecedor, Texiglass, trabalhava. A tecelagem empregada é do tipo tecido com resina epóxi e os valores estão disponíveis para consulta em seu catálogo.

**Quadro 1 - Compósitos**

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
FIBRA DE VIDRO	Aglomerção de finíssimos filamentos de vidro não rígidos e flexíveis. As fibras são unidas pela aplicação de resina de poliéster (ou outro tipo de resina)	Densidade: 1,85 g/cm <sup>3</sup> Resistencia a tração: 965 Mpa Módulo de Elasticidade: 39 GPa Amplamente utilizado Boa resistência a água Bom isolante elétrico Bom isolante térmico Incombustibilidade Pouco resistente a fadiga Baixo custo
FIBRA DE CARBONO	Composta de átomos de carbono formando uma longa cadeia.	Densidade: 1,55 g/cm <sup>3</sup> Resistencia a tração: 1550 Mpa Módulo de Elasticidade: 138 GPa Boa tolerância a altas temperaturas Alta resistência à química (exceto para oxidação) Não é um bom isolante elétrico Alto custo
FIBRA DE ARAMIDA	Constituída a partir de nylons aromáticos, onde as moléculas formam cadeias longas e altamente orientadas.	Densidade: 1,38 g/cm <sup>3</sup> Resistencia a tração: 1378 Mpa Módulo de Elasticidade: 76 GPa Ótima absorção de energia Ótima resistência ao impacto Alta resistência térmica Alta resistência a abrasão Boa resistência a tensão Estabilidade dimensional Alta absorção de umidade Alto custo

Fonte: Autoria própria

A partir do quadro 1 pode-se entender que todos os três compósitos podem ser usados na fabricação de diversos componentes do veículo, porém cada fibra terá melhores resultados se usada em componentes que exijam propriedades semelhantes com suas vantagens.

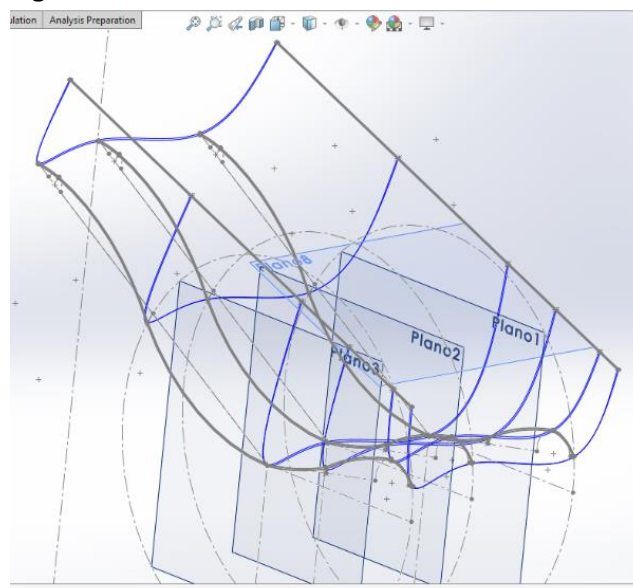
#### 4.1.1 Melhor Alternativa

Através de análises dos perfis e sincronização de projetos com a equipe de estrutura, concluiu-se que o uso do perfil inclinado era o mais indicado. Esse perfil se mostrou melhor, pois permite que seja utilizada uma altura menor do chassi, mais especificamente do *main hoop*, e oferece um melhor desempenho ergonômico ao piloto na relação braço/volante, visto que os braços ficam mais esticados para segurá-lo, comportamento similar ao observado em carros de Fórmula 1. A partir disso, foi feita a modelagem da geometria do banco.

Definiu-se, dois planos a uma distância de 450mm um do outro, e um plano perpendicular inclinado em cima do perfil, onde foram desenhados dois retângulos delgados que serviriam de pontos de saída e chegada do *loft* e com a ferramenta curva por pontos de referência foram traçadas curvas que continham todas as arestas importantes do perfil. Com o *loft* pronto, o excesso foi cortado com auxílio da ferramenta “corte extrudado”.

Após essa etapa, adicionou-se ainda um terceiro perfil, idêntico aos outros dois, mas em um offset de 50mm para trás. Esse perfil extra, mostrado na figura 18, acarreta em um encosto mais abaulado, para melhor repouso e em uma leve protuberância na área da virilha que gera maior estabilidade e conforto ao piloto por acompanhar melhor as curvas da perna.



**Figura 18 – Offset do banco**

Fonte: Autoria própria

Ao realizar o corte extrudado do *loft*, foi necessário definir os pontos de fixação e de passagem do cinto de segurança.

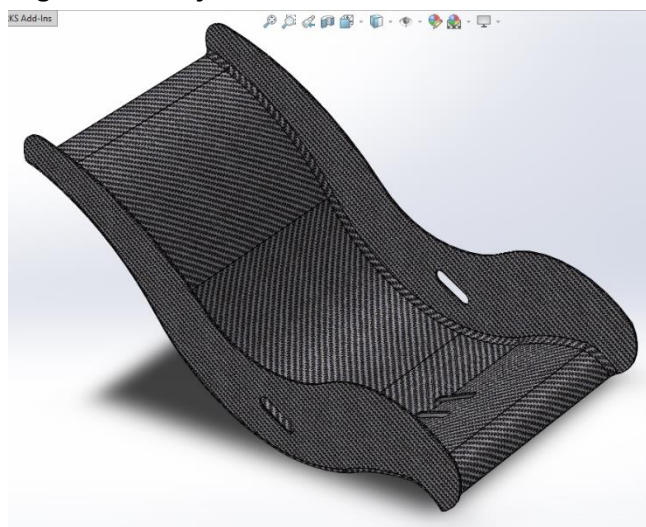
Nesse ponto do projeto, foram definidos os materiais e o método de construção que foram utilizados. Devido a reestruturação e treinamento da equipe de compósitos, responsável pela construção do banco, o método de laminação tornou-se totalmente viável, uma vez que não teria nenhum tipo de custo além dos materiais empregados. Além disso, com um método de fabricação manual, não há necessidade de especificar os pontos de furação para os suportes, visto que esses pontos podem variar da posição desejada comprometendo a fixação, logo podem ser furados após a fixação dos suportes no chassi, reduzindo a chance de erros.

Após a definição do método de construção, notou-se que o perfil definido deveria sofrer pequenas alterações, a fim de simplificá-lo. Essas mudanças se deram ao fato de que um método de construção totalmente manual não consegue reproduzir no molde alguns dos detalhes que são possíveis fazer na etapa de modelagem. Dessa forma, para ter-se uma construção mais fiel ao projeto, representado na figura 19, o design do mesmo teve que ser simplificado da seguinte maneira:

Excluir a função *Loft*;

Resgate do perfil original;

Uso desse perfil em uma extrusão no comprimento original do banco.

**Figura 19 - Projeto do banco**

**Fonte: Autoria própria**

Para a escolha do material, foi feita uma matriz de decisão, mostrada na tabela 1, com a análise das características mais importantes para o banco de um carro Fórmula SAE e foram atribuídas notas de 1 a 3 para cada uma delas, sendo um a 1 a pior avaliação dentre as possibilidades e 3 a melhor.

**Tabela 1 - Matriz de Decisão de Banco**

	Rigidez	Densidade	Durabilidade	Custo	Total
Fibra de Vidro	1	1	2	3	7
Fibra de Carbono	3	2	3	2	10
Fibra de Aramida	2	3	3	1	9

**Fonte: Autoria própria**

Como todos os quesitos aplicados tem o mesmo peso, foi concluído que o melhor material para a construção era a fibra de carbono e o banco finalizado é mostrado na figura 20.

Figura 20 - Banco UTF 319



Fonte: Autoria própria

#### 4.2 CINTO DE SEGURANÇA

O modelo utilizado neste projeto foi de 6 pontas, pois já havia sido adquirido pela equipe UTForce e-Racing em 2017. Como é um item cujo modelo não traz impactos no projeto, visto que o contato que tem com a estrutura do veículo é restrito

aos pontos de suporte, não houve necessidade de troca-lo, apenas estudá-lo cuidadosamente, para garantir que fosse fixado a estrutura da forma correta e sem empecilhos.

Visando a entender a distribuição do cinto para definir-se os pontos de fixação, o carro de 2018 foi utilizado para se analisar o comportamento do cinto no corpo do piloto e foram tiradas fotos dos pontos de engate do carro de 2018 (figuras 21 e 22).

**Figura 21 - Distribuição do cinto**



**Fonte: Autoria própria**

**Figura 22 – Distribuição do cinto**

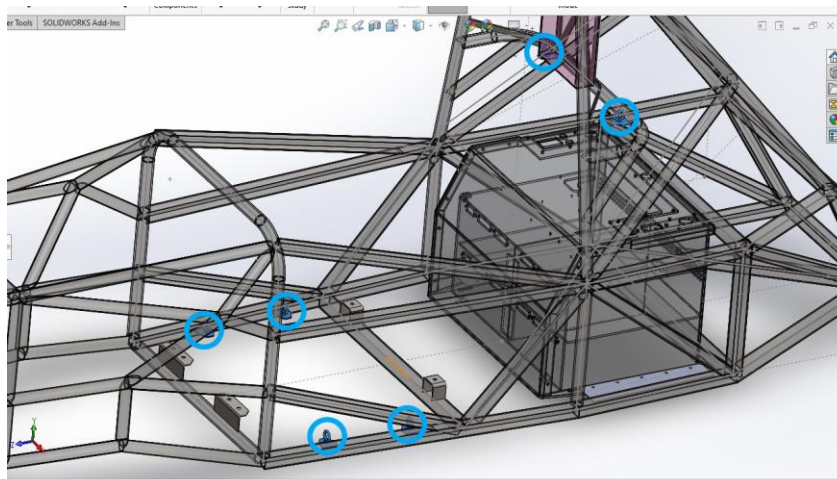


**Fonte: Autoria própria**

Observa-se, nas figuras 21 e 22, que o cinto de segurança cumpre os requisitos de distribuição no corpo exigidos pela SAE, conforme citados na página 18 deste trabalho. Dessa forma, baseado nos requerimentos do regulamento e considerando o comprimento do cinto foram definidos os pontos de engate, mostrados em azul, na figura 23.



**Figura 23 - Pontos de fixação do cinto**



**Fonte: A autoria própria**

### 4.3 ENCOSTO DE CABEÇA

A equipe havia feito a aquisição do item espuma rosa CONFOR M CF-42 (figura 24) anteriormente, pois a espuma escolhida não afeta de nenhuma forma o projeto dos carros e pode ser reaproveitada por diversos anos consecutivos.

**Figura 24 - Espuma Confor M CF-42**



**Fonte: Acervo UTForce e-Racing (2018)**

Visando a atender os itens referentes ao dimensionamento, o encosto de cabeça possui dimensões de 280mm de altura, 160mm de largura e 40mm de espessura.

Os suportes do encosto de cabeça foram desenvolvidos em chapas de aço, com espessura de 3 mm, de forma a aguentar a força de 890N sem sofrer deformação. Os suportes, mostrados na figura 25, foram modelados no software SolidWorks e construídos manualmente por membros da equipe.

**Figura 25 - Suportes do encosto de cabeça UTF 319**



Fonte: Autoria própria

A espuma foi envolta em uma capa de couro com o símbolo da equipe e após a fixação dos suportes no *Main Hoop*, o encosto de cabeça foi fixado definitivamente no carro, de acordo com a figura 26.

**Figura 26 - Encosto de cabeça UTF 319**

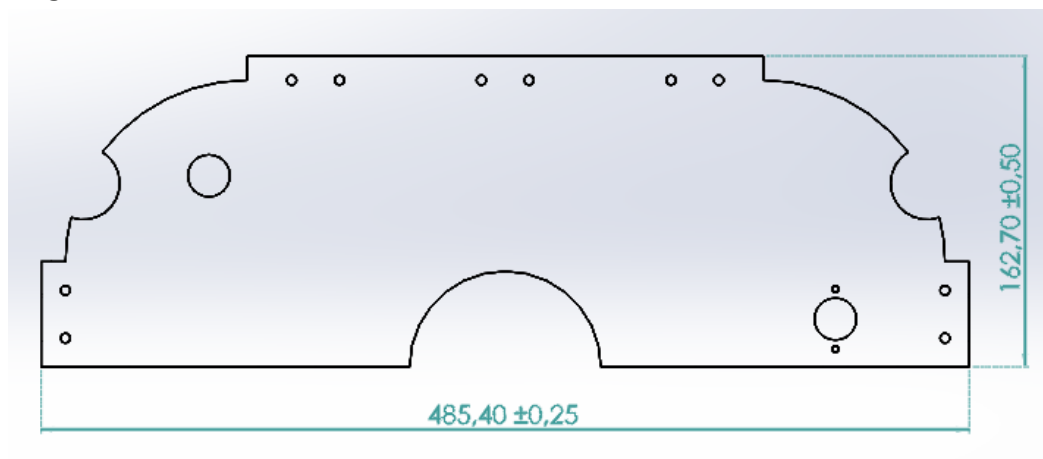


Fonte: Autoria própria

#### 4.4 PAINEL

As duas preocupações principais em relação ao painel eram de diminuir sua altura em relação aos anteriores e ser reaproveitado nos próximos anos. O primeiro passo foi analisar o CAD do painel de 2018, mostrado na figura 27, para ser usado como referência.

**Figura 27 – CAD do Painel 2018**



**Fonte: UTForce e-Racing (2018)**

A partir dessa análise inicial foi feito um novo projeto de painel em CAD, com largura de 540 mm e altura de 88,90 mm. O painel de 2019, que tem seu CAD representado representando a figura 28 apresentou uma diminuição de 65,7 mm em relação ao projeto de 2018.

**Figura 28 – CAD do Painel UTF 319**



**Fonte: Autoria própria**

Além dessas duas mudanças, ele deveria também conter alguns elementos da eletrônica, como luzes de led e botões. O painel conta com uma chave seletora, para ligar o inversor; um botão que informa ao inversor que o carro está pronto para andar e uma botoeira de shutdown, para caso de algo errado acontecer, o piloto apertar e desliga o carro.

Tem também 2 luzes de led, sendo uma do BMS, responsável por medir as baterias do carro, e uma do IMD, mede a isolação entre o high voltage e o low voltage. Quando ocorre algum problema no BMS, ele tem que desligar o carro e a luz correspondente no painel deve permanecer acesa para alertar o piloto de que houve algum problema. Já do IMD, se for detectado algum problema de isolação ou algo nesse sentido, ele vai desligar o carro e vai acender a luz escrita IMD no painel para o piloto saber que existe alguma falha de isolação no carro.

A questão da durabilidade está diretamente relacionada com o material utilizado. Para a concepção do painel, três materiais têm propriedades interessantes para finalidade: acrílico, fibra de vidro e fibra de carbono. As propriedades dos dois compósitos em questão foram descritas no quadro 1. No quadro 2 tem-se as características do acrílico, retiradas de um catálogo de fornecedor.

**Quadro 2 - Acrílico**

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	CARACTERÍSTICAS
ACRÍLICO (PMMA - (polimetilmetacrilato))	Termoplástico com formulação (C5O2H8)n.	Densidade: 1,19 g/cm <sup>3</sup> Resistência a Tração: 61,8 MPa Módulo de Elasticidade: 3,2 GPa Amplamente utilizado Diversas possibilidades de espessuras e cortes Excelente maleabilidade Sem tendência a fragmentação na quebra Baixa resistência ao impacto Baixa resistência a fadiga Baixo custo

Fonte: Autoria própria

#### 4.4.1 Melhor Alternativa

Para a matriz de decisão do painel, mostrada na tabela 2, foram atribuídas notas de 1 a 3 para das propriedades avaliadas, de forma análoga ao que desenvolvido na tabela 1, sendo um a 1 pior avaliação dentre as possibilidades e 3 a melhor. Porém, para atender os requisitos de projeto e também o planejamento da equipe para os anos seguintes, foi considerado que rigidez e durabilidade eram os quesitos mais importantes a serem analisados, logo para esses itens foi atribuído peso 2 e os outros itens mantiveram peso 1.



**Tabela 2 - Matriz de Decisão de Painel**

	Rigidez	Densidade	Durabilidade	Custo	Total
Fibra de Vidro	2 x (2)	1	2 x (2)	2	11
Fibra de Carbono	3 x (2)	2	3 x (2)	1	15
Acrílico	1 x (2)	3	1 x (2)	3	10

**Fonte: Autoria própria**

Através da análise da matriz de decisão, percebeu-se que novamente o melhor material para construção era a fibra de carbono. Porém, optou-se por fabricá-lo utilizando fibras de vidro e fibras de carbono. A fibra de vidro possui alta resistência, baixa rigidez e seu custo é baixo quando comparado com outros tipos de fibra, fazendo com que ela se tornasse uma boa opção para ser utilizada no painel do carro em conjunto com outra fibra de maior rigidez. A fibra de carbono, por sua vez, possui excelente rigidez, alta resistência e baixa densidade, mas tem um preço bem mais elevado que a fibra de vidro.

Assim foram utilizadas duas camadas de cada fibra, visando uma combinação de propriedades e um bom custo-benefício. As duas primeiras camadas são de fibra de vidro e as duas últimas (que ficam do voltadas para o piloto) são de fibra de carbono, pois além de suas excelentes propriedades, é mais bonita esteticamente e permite que furos sejam feitos com simplicidade para a adequação e encaixe dos elementos eletrônicos. A figura 29 mostra o painel finalizado e instalado no *cockpit*.

**Figura 29 – Painel UFT 319**

**Fonte: Autoria própria**

## 4.5 VOLANTE

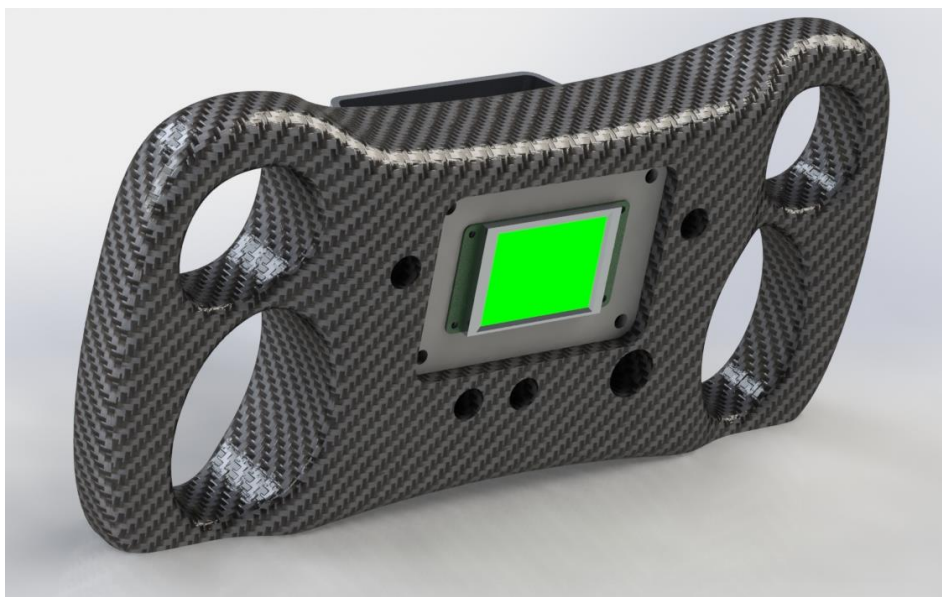
Uma inspiração interessante para seu design foram os volantes de fórmula 1, que possuem boa ergonomia e boa navegação de bordo. O empecilho era tamanho do volante, que inicialmente ficou com mais de 300 mm, descumprindo um dos pontos do regulamento SAE. Visto isso na fase de pré-projeto, percebeu-se que o volante deveria ser diminuído para aproximadamente 265 mm para que obedecesse a regra.

O próximo desafio foi a sincronização com a parte elétrica, visto que tem alguns elementos como botões e chave seletora que deveriam ficar no volante. Então, o problema era a fixação desses elementos e também na ergonomia do piloto na hora de usa-los. Para obter-se um melhor desempenho, foi impresso um volante em 3D para serem feitos os testes.

### 4.5.1 Melhor Alternativa

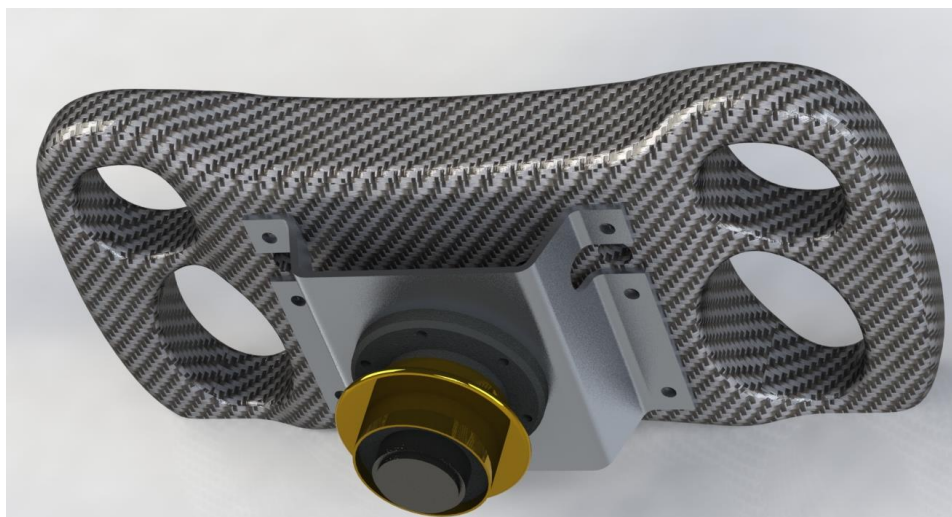
Após a verificação do posicionamento dos elementos de eletrônica e testes empíricos para ver o conforto ao usa-los, chegou-se ao projeto final do volante. As fixações foram feitas em uma “tampa” também de impressão 3D, onde ficam os botões, a chave seletora e o painel de LCD; já a fixação no engate rápido é feito por meio de uma chapa de aço, conforme pode-se observar nas figuras 30, 31 e 32.

**Figura 30 - CAD Volante 2019 (Frente)**



**Fonte: Autoria própria**

**Figura 31 – CAD Volante 2019 (Atrás)**



**Fonte: Autoria própria**

**Figura 32 – Volante UTF 319**



Fonte: A autoria própria

#### 4.6 FIREWALL

O firewall deve também ser constituído de dois materiais, sendo o primeiro uma chapa de alumínio de 0,5mm de espessura, conforme especificado no regulamento. O segundo material deve ser um bom isolante térmico para garantir a segurança do piloto em caso de algum problema com os sistemas de bateria ou motor. Nos anos anteriores, a equipe havia utilizado uma chapa de acrílico fixada junto a chapa de alumínio, porém esse componente também pode ser feito a partir de fibras de aramida, por exemplo.

##### 4.6.1 Melhor Alternativa

O projeto em CAD, é relativamente simples de ser feito, são duas chapas cujas dimensões acompanham os tubos do chassi, de acordo com a figura 33.

**Figura 33 - Chapas do Firewall**

Fonte: Autoria própria

O segundo material escolhido foi a fibra de aramida, pois além de ser um bom isolante elétrico (atendendo o regulamento) possui excelente resistência térmica, resistência a abrasão, é muito leve, resistente e também aumenta a rigidez de toda estrutura. Devem ser usadas duas camadas de fibra para conseguir chegar na espessura suficiente descrita no regulamento.

Para garantir a isolação completa, usou-se fita de alumínio, não deixando assim nenhum espaço entre as placas ou entre as placas e o chassi, conforme a figura 34.

**Figura 34 - Firewall finalizado**

Fonte: Autoria própria

## 5 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi realizado o projeto e desenvolvimento do *cockpit* de um carro de fórmula SAE elétrico de competição.

Foram projetados os componentes fundamentais para um carro desse estilo, seguindo as diretrizes da SAE referentes ao ano de 2019, como: banco do piloto, cinto de segurança, encosto de cabeça, painel, volante e *firewall*. Pode-se considerar que este trabalho cumpriu com os objetivos que foram propostos sendo eles: determinar os requisitos de projeto, analisar e selecionar os materiais e modelar os componentes em software de desenho para verificar sua viabilidade de construção.

A matriz de decisão permitiu ser feita uma análise ampla e que levasse em conta os principais requisitos dos componentes e realizada a seleção dos materiais de forma mais assertiva. A matriz de decisão mostrou-se eficiente.

Após a modelagem individual de cada componente, utilizando o software *SolidWorks*, foi possível a análise do sistema de *cockpit* completo e verificou-se que seu desenvolvimento era viável.

De acordo com o que foi apresentado no trabalho, todos os projetos do *cockpit* tiveram sua validação comprovada durante inspeção estática e prova de design realizados na competição SAE Brasil 2019. A nota obtida na prova de design de 2019 para Freios e *Cockpit* foi a mais alta já obtida pela equipe UTForce e-Racing na prova de design.

O carro UTF 319, desenvolvido pela equipe é representado pela figura 35.



Figura 35 - UTF 319



Fonte: UTForce e-Racing (2019)

Como sugestão para projetos futuros, propõe-se:

- Desenvolvimento de gabarito para verificar-se as dimensões do *cockpit*, baseando-se nos *templates* do regulamento SAE
- Estudo de viabilidade para se utilizar método automatizado para construção do banco
- Estudo de desenvolvimento de outros sistemas de eletrônica embarcada, permitindo ao piloto obter mais informações do carro em tempo real
- Utilização novamente de aramida para construção do firewall, por ter se mostrado mais eficiente e fácil de trabalhar do que o acrílico, utilizado em anos anteriores.

## REFERÊNCIAS

ABERGO. **O que é ergonomia**. Disponível em: [http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o\\_que\\_e\\_ergonomia#:~:text=A%20Ergonomia%20\(ou%20Fatores%20Humanos,o%20desempenho%20global%20do%20sistema](http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia#:~:text=A%20Ergonomia%20(ou%20Fatores%20Humanos,o%20desempenho%20global%20do%20sistema. Acesso em: 6 set. 2020). Acesso em: 6 set. 2020

BARBI, L. F. T. Tecidos de Fibra. **Texiglass**, 2005. Disponível em: [http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2013/cobertura\\_paineis/automotivo\\_pecas/apresentacoes/texiglass.pdf](http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2013/cobertura_paineis/automotivo_pecas/apresentacoes/texiglass.pdf). Acesso em 18 jan. 2021

BELMETAL. **Características do Acrílico**. p. 1–3. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/belmetal/chapas-acrilico.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BORGES, F. M.; RODRIGUES, C. L. P. Pontos passíveis de melhoria no método de projeto de produto de Pahl e Beitz. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 2, p. 271–281, 2010. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-530X2010000200005](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2010000200005). Acesso em: 28 set. 2020

FALZON, P. **Ergonomia**. 2. ed. São Paulo: Blusher, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213475/>. Acesso em: 21 set. 2020

FORMULA SAE BRASIL. **Formula SAE Rules 2019**. v. 2.1 p. 1–132, 2018. Disponível em: <https://www.saebrasil.org.br/programas-estudantis/formula-sae-brasil/>. Acesso em: 5 set. 2020

KUSABARA, R. Lesões na Coluna por Acidentes de Trânsito. **Dr. René Kusabara**, 2020. Disponível em: <https://renekusabara.com.br/lesoes-na-coluna-por-acidentes-de-transito/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia**. 6. ed. São Paulo: Blusher, 2005. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215516/>. Acesso em: 20 set. 2020

SOUZA, D. A. DE et al. **Ergonomia do ambiente construído**. 1. ed. Porto Alegre: Sagah Educação S.A., 2019. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029675/>. Acesso em: 19 set. 2020



TERRES, A. O que é o acrílico. **Fortichapas**, 2016. Disponível em: <https://fortichapas.com.br/o-que-e-o-acrilico/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

TILLEY, A. R.; ASSO, H. D. A. **As medidas do homem e da mulher: fatores humanos em design**. Porto Alegre: Bookman, 2005. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577801022/>. Acesso em: 20 set. 2020

**GABRIEL SILVESTRE MIRANDA**

**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO COCKPIT EM UM FÓRMULA SAE  
ELÉTRICO**

**Cockpit design and development of a formula SAE electric car**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Me. José Roberto Okida

**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.