



Felipe Sehn da Silva

Leonardo Prevedello

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO VOLTADO A UM
CARRO ECONÔMICO PARA PARTICIPAR DA MUEE**

Horizontina

2013

**Felipe Sehn da Silva
Leonardo Prevedello**

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO VOLTADO A UM CARRO
ECONÔMICO PARA PARTICIPAR DA MUEE**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Fabiano Cassol, Doutor.

Horizontina

2013

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Desenvolvimento de um projeto voltado a um carro econômico para participar
da MUEE”**

Elaborada por:

**Felipe Sehn da Silva
Leonardo Prevedello**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 02/12/2013
Pela Comissão Examinadora**

**Prof. Dr. Fabiano Cassol
Presidente da Comissão Examinadora – Orientador**

**Prof. Me. Anderson Dal Molin
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Prof. Dr. Ademar Michels
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina
2013**

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares que sempre nos apoiaram e nos incentivaram ao longo dessa longa e gratificante jornada. Também ao acadêmico Rafael Basso Scalabrin pois colaborou diretamente com este projeto.

AGRADECIMENTOS

A nossa família pelo o grande incentivo e carinho.

A nossas companheiras pela paciência e apoio nos momentos decisivos para realização desse trabalho.

Ao professor Fabiano Cassol pelo grande desafio, orientando e incentivando com responsabilidade na realização e conclusão desse trabalho.

A todos os nossos colegas e amigos que de uma forma ou outra ajudaram com estudo e incentivo a terminar esse trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as
grandes coisas do homem foram conquistadas
do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

Com a crescente demanda por economia de energia se faz necessário desenvolver equipamentos cada vez mais eficientes, de modo a diminuir a demanda por recursos naturais. Com o intuito de aprimorar os conhecimentos voltados a economia de combustível no ramo automotivo, no presente trabalho é desenvolvido um carro econômico composto por chassi tubular de alumínio, carenagem de fibra de carbono, feito a partir de um molde de madeira MDF (espessura 3 mm) e um motor monocilíndrico, quatro tempos, resfriado a ar com 49cc (2,5 HP) baseado no regulamento MUEE (Maratona Universitária de Eficiência Energética) 2013. O trabalho executado tem o objetivo de se obter a maior eficiência energética possível do carro econômico, que consiste em o mesmo percorrer uma determinada distância com a menor quantidade de combustível possível. Como resultado principal é atingido uma autonomia no protótipo de 50,55 quilômetros por litro de gasolina. Como principal conclusão se apresenta a possibilidade de aumentar a economia de combustível em um veículo, utilizando materiais mais leves em sua fabricação.

Palavras-chaves: Eficiência energética. Inovação tecnológica. Carro econômico.

ABSTRACT

With the increasing demand for energy-saving it is necessary to develop equipments increasingly efficient, in order to reduce the demand for natural resources. With the objective of improve the knowledge aimed at fuel economy in the automotive industry, the present work develops an economic car chassis, wich consists of a tubular aluminum, carbon fiber fairing, made from a wooden named MDF (thickness 3 mm), and a single-cylinder, four-stroke, air cooled engine with 49cc (2.5 HP) based on the MUEE (University Marathon Energy Efficiency) rule. This work was developed with the goal of obtaining the highest possible energy efficiency of the economic car, which consists of a travel at a certain distance with the least amount of fuel. As the main result it is observed an autonomy of 50,55 quilometers by liter of gasoline. As the main conclusion is presented the gasoline economy increasing in a vehicle, using lighter weight materials in its manufacture.

Keywords: Energy efficiency. Technological innovation. Economy car.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Carroceria independente da estrutura do chassi	19
Figura 2.2 – Barras de proteção.....	20
Figura 3.3 – Esquema para sabermos a força desconsiderando o atrito.	32
Figura 4.1 – Sistema estrutural final do carro econômico	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Apresentação dos materiais utilizados e suas descrições	24
Quadro 4.3 – Especificações do motor	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	14
2.2 MATERIAIS	15
2.3 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS.....	16
2.4 REGULAMENTO MUEE 2013	18
2.4.1 Motor	18
2.4.2 Carroceria / Carenagem	19
2.4.3 Chassi / monocoque.....	19
2.4.4 Segurança do veículo.....	20
2.4.5 Bitola dos eixos do veículo.....	20
2.4.6 Sistema de Freios e Transmissão	21
2.4.7 Sistema de direção	21
2.4.8 Sistema de Exaustão	22
3 METODOLOGIA	23
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	23
3.2 COLETA DE DADOS	23
3.3 MATERIAIS UTILIZADOS	24
3.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	24
3.5 DIMENSIONAMENTO DOS ITENS DO CARRO	25
3.5.1 Dimensionamento do chassi	25
3.5.2 Dimensionamento do sistema de transmissão	26
3.5.3 Dimensionamento do sistema de direção	30
3.5.4 Dimensionamento do sistema de freios	32
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
4.1 DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DA ESTRUTURA TUBULAR DO CHASSI.....	35

4.2	DIMENSIONAMENTO E DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO	42
4.3	DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DO SISTEMA DE DIREÇÃO.....	45
4.4	DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DO SISTEMA DE FREIOS.....	49
4.5	DETERMINAÇÃO DO MOTOR.....	50
4.6	DETERMINAÇÃO DAS RODAS DO VEÍCULO	51
4.7	PROJETO FINAL	52
4.8	ANÁLISE E DESEMPENHO	53
5	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho surgiu da necessidade de desenvolver um projeto voltado a um “Carro Econômico”, para participar da competição MUEE (Maratona Universitária de Eficiência Energética), o qual foi baseado nas exigências da mesma (Maratona, 2013).

Durante as competições da MUEE, os protótipos são submetidos a testes de funcionamento, segurança, resistência e avaliação de relatório de projeto. Com isso, o trabalho justifica-se também pela necessidade de que o protótipo que atenda a todos os requisitos estipulados pela competição, que requerem análise e interpretação para um projeto adequado.

Além das justificativas mencionadas, a oportunidade da competição propicia aos futuros engenheiros desenvolverem projetos de baixo custo, porém eficientes, com o intuito de aumentar o desempenho dos protótipos.

O objetivo geral do trabalho é tornar o protótipo do carro o mais econômico possível, parâmetro que consiste em o mesmo percorrer um determinado percurso com o mínimo de combustível.

Entre os objetivos específicos destaca-se:

- Identificar os requisitos estipulados no regulamento para o desenvolvimento do protótipo;
- Elaborar um projeto detalhado do protótipo do carro econômico;
- Desenvolver o projeto do protótipo seguindo os requisitos da organização da MUEE 2013;
- Realizar os testes e adequações no protótipo.

No decorrer do trabalho será apresentado o dimensionamento do veículo, materiais utilizados e o projeto detalhado e por fim os resultados obtidos depois de avaliado o protótipo. O dimensionamento, cálculos de esforços, determinações de velocidades e sua eficiência, permitiu também conhecer os potenciais pontos de falhas e melhoria de rendimentos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura serão apresentados conceitos sobre eficiência energética, materiais e algumas inovações que estão em fase de desenvolvimento. Por fim será apresentado os requisitos da competição MUEE (Maratona universitária de Eficiência Energética) 2013, a serem seguidos para desenvolvimento do presente projeto.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo SILVA E HASHIMOTO (1992), desde tempos remotos o homem tem procurado criar condições que lhe proporcionem uma vida mais confortável, que facilite a obtenção do que se necessita para viver melhor. Por exemplo, o homem aprendeu a domesticar e montar em cavalos para aliviar o sofrimento de seus pés e adquirir maior rapidez para sua locomoção. Para o armazenamento de alimentos e objetos, passou a utilizar os cavalos como transporte de cargas, com essas evoluções, o homem chegou a um de seus maiores inventos que aconteceu por volta de 3000 A.C: a roda. A partir do surgimento da roda rapidamente foi atribuído a ela outras funções que se desencadearam novas invenções. Para que esses utensílios e máquinas funcionassem, o homem necessitou fornecer energia a estes equipamentos.

Ainda de acordo com SILVA e HASHIMOTO (1992), no século XVIII, já era possível gerar energia a partir do vapor de água. O vapor forneceu força motora para o transporte coletivo como o trem e a indústria por cerca de dois séculos. Antes do século XVIII, o combustível mais utilizado era a lenha. O carvão surgiu na mesma época como alternativa de combustível. Próximo ao mesmo período surge o beneficiamento e o refinamento do petróleo, onde primeiro foi refinada a querosene e posteriormente o diesel e a gasolina. Com o aumento da demanda do uso de combustíveis surgiu a necessidade de projetar equipamentos mais econômicos, sendo também necessário procurar estudos para a elaboração de fontes alternativas de energia para os automóveis.

2.2 MATERIAIS

Hoje em dia se busca muito por materiais que sejam leves e de baixo custo, principalmente para a indústria automobilística, para reduzir peso de seus veículos, sobretudo pelo motivo de que carros mais leves consomem menos combustíveis.

VAN VLACK (1984) afirma que o engenheiro precisa ter um amplo conhecimento das propriedades e características de comportamento dos materiais que ele se propõe a utilizar. Considerando por um instante a variedade de materiais usados na fabricação de um automóvel; Temos o ferro, aço, vidro, plásticos, borrachas, onde apenas o aço possui aproximadamente 2.000 variedades ou modificações. Ao fazer uma escolha, o projetista precisa levar em conta propriedades tais como resistência mecânica, condutividade térmica e/ou elétrica, densidade e outras.

Conforme cita MENEGHESSO (2006), o metal alumínio apresenta características que transmitem a ideia de modernidade, pela associação de sua presença em naves, e objetos espaciais, sendo muito utilizado na combinação das suas características estruturais, leveza e plasticidade com acabamentos protetivos e decorativos. Ao contrário do que sucede com a maioria dos aços, o alumínio não se torna quebradiço a baixas temperaturas, pelo contrário, em tal situação a sua resistência aumenta. Entretanto, a altas temperaturas, a resistência do alumínio diminui. Temperaturas que se mantenham acima dos 100°C, a resistência é afetada, de tal modo, que o enfraquecimento deve ser considerado em projetos.

Segundo ZANATTA (2012), a fibra de carbono apresenta altíssima resistência às solicitações de tensão, podendo superar em mais de 5 vezes a resistência específica das ligas de aço. Em outros termos, por exemplo, se um feixe de fibra de carbono cujo peso é de 0,1 kgf pode suportar um peso de 100 kgf, então para suportar o mesmo peso um cabo de aço pesaria em torno de 0,5 kgf. Trata-se, sem dúvida, de uma característica extremamente atraente, que permite uma redução de até 25% no peso final do equipamento.

Segundo Wolf (2008), as fibras de carbono, como as fibras de vidro, são consideradas os primeiros reforços utilizados para o aumento da rigidez e resistência de materiais compósitos leves, utilizados geralmente em aeronaves,

equipamentos de recreação e aplicações industriais. As palavras “fibra de carbono” geralmente referem-se a uma variedade de produtos com vários filamentos compostos por mais de 90% de carbono, e esses filamentos contendo 5 a 15 μm de diâmetro, produzidos pela pirólise (decomposição térmica sem oxigenação) da poliácridonitrila. Em benefício das fibras de carbono ter elevados valores de resistência à tração, módulo de elasticidade extremamente elevado e baixa massa específica, comparadas com outros materiais de engenharia, são utilizadas nas aplicações críticas de redução de massa.

2.3 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

Cada vez mais cresce a importância da inovação tecnológica, principalmente para o desenvolvimento de automóveis que não poluam o meio ambiente, ou que ao menos diminuam a poluição emitida pelos mesmos.

Segundo VERÍSSIMO (2012) recentemente, o governo e montadoras fecharam um acordo para regulamentar um novo regime automotivo, que entrou em vigor em dia 1º de janeiro de 2013. A medida foi acertada e está prevista no novo regime automotivo, que as montadoras terão que fabricar carros mais econômicos. As empresas concordaram em fazer uma redução de 12% no consumo atual de combustível, medido em megajoules por quilômetro. Essa meta terá de ser atingida até 2017.

Por questões de inovação e eficiência energética, justifica-se a importância da competição MUEE para os futuros engenheiros. Pesquisas voltadas ao desenvolvimento tecnológico na parte de combustíveis, motores e materiais estão em constante avanço.

Segundo BORGNAKKE e SONNTAG (2009), a maioria dos combustíveis compostos por carbono e hidrogênio, líquidos ou gasosos, é constituída de uma mistura de muitos hidrocarbonetos diferentes. Por exemplo, a gasolina é constituída por uma mistura de cerca de 40 hidrocarbonetos. A maior parte dos combustíveis líquidos, constituídos por hidrocarbonetos, são misturas obtidas da destilação ou destilação fracionada do petróleo.

Para Inovação em Combustíveis conforme reportagem SAMPAIO (2012) uma equipe do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT, na sigla em inglês)

que estuda como produzir isobutanol, um álcool que pode substituir ou diminuir o uso da gasolina em automóveis e outros veículos, usando o gás carbônico, um dos responsáveis pelo aquecimento global. Um dos motivos para o estudo do isobutanol é que o mesmo é compatível com a gasolina. Se a pesquisa for bem-sucedida, no futuro a estrutura montada para o uso de gasolina (dutos, bombas, postos de combustível) precisaria de poucas adaptações para receber o álcool, devido à semelhança entre os combustíveis.

Para Inovação em Motores, segundo site “INOVAÇÃO TECNOLÓGICA” (2006), pesquisadores do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), estão desenvolvendo um novo motor a combustão que, segundo eles, deixará os carros tão econômicos quanto os novíssimos modelos híbridos - veículos que utilizam motores a combustão e elétricos, intercambiáveis de forma automática, sem necessidade de intervenção do motorista. O mini-motor tem duas grandes vantagens: o baixo custo e a economia de combustível, que poderá deixar os carros tradicionais com o mesmo consumo dos ainda caros veículos híbridos. O segredo da inovação está na injeção de etanol diretamente nos cilindros do motor sempre que for exigida uma potência extra, como no caso de uma subida ou da necessidade de aceleração para se fazer uma ultrapassagem. Os resultados atuais mostram que um veículo equipado com o mini-motor poderá reduzir o consumo de combustível em até 30%.

Em relação à Inovações em Materiais, uma forma que está sendo adotada aos poucos no que se diz respeito é deixar o material mais espesso apenas onde for necessário, usando chapas mais finas onde não há grande solicitação de carga ou segurança. Segundo WAGNER (2013), do instituto IWS, na Alemanha, encontrou uma forma de levar essa prática quase ao extremo, reforçando o aço apenas na parte exata de cada chapa onde é necessária maior resistência. Essa técnica é chamada de “reforço local a laser”, que consiste na aplicação de um feixe de laser na superfície da folha de aço, apenas nos pontos a serem reforçados. Sob a ação do laser, essas zonas se aquecem fortemente, chegando mesmo a começar a fundir, solidificando-se novamente, de forma muito rápida, assim que o laser é retirado. O resultado é a criação das chamadas com fases duras, em que a resistência do material é significativamente aumentada nos

pontos tratados. O uso da técnica em um veículo popular permitirá uma redução no seu peso de até 20%.

2.4 REGULAMENTO MUEE 2013

O carro econômico, segundo os requisitos do regulamento MUEE (Maratona Universitária de Eficiência Energética) 2013, deve ter no mínimo três rodas correntes, sendo que todas devem ter contato contínuo com a pista quando estiver em circulação. Apêndices aerodinâmicos, que sejam móveis para aproveitar de forma variável o fluxo do ar enquanto o veículo está em movimento, são proibidos. As carrocerias dos veículos não devem incluir quaisquer apêndices externos que possam representar perigo. O veículo deverá ser equipado com um cinto de segurança para o piloto, tendo pelo menos três pontos de fixação e tendo seu acionamento em uma única fivela.

Extremidades expostas da carroceria, como cintas de fixação, abraçadeiras plásticas cortadas, cantos e bordas de chapas, pontas de parafusos e cabos instalados no veículo, que tenham cantos agudos deverão ser eliminados ou revestidos com material protetor que evite contusões ou ferimentos nos pilotos e demais pessoas que estiverem por perto.

Os componentes mecânicos do carro econômico serão citados conforme expostos no regulamento da MUEE 2013, sendo necessário que atenda a todos os requisitos especificados, para assim ser aprovado na vistoria de projeto e ser validado para a competição.

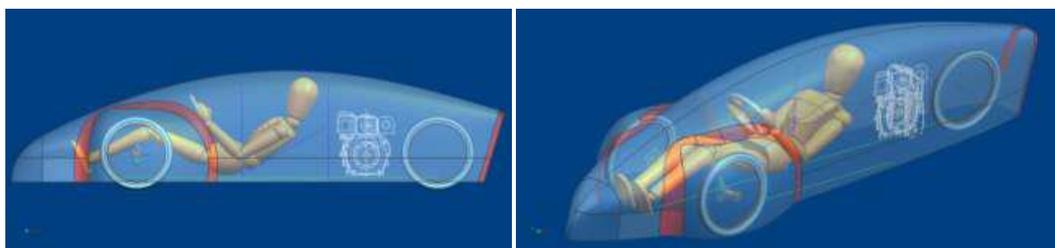
2.4.1 Motor

O motor do carro deverá ser a gasolina, onde o mesmo conforme o regulamento deve ser de combustão interna, ciclo Otto de quatro tempos, podendo ser utilizado de qualquer fabricante. A instalação da tubulação de exaustão deve ser para fora do veículo. O carro não poderá superar a marca de 45 Km/h (quarenta e cinco quilômetros por hora). O tanque de combustível é padrão para todos os veículos, onde o mesmo é fornecido pela organização do evento.

2.4.2 Carroceria / Carenagem

A carroceria deve ser construída para ser um elemento independente da estrutura tubular do chassi. Segundo exigências da competição, o projeto deve atender aos requisitos, que são: uma barra superior que deve ser parcial ou completamente apoiada ao chassi e nele ter fixações. Secção inferior, que deverá complementar o total isolamento do piloto dentro do veículo, seja com relação ao piso onde o veículo circulará no evento ou com relação ao meio externo, conforme Figura 2.1.

Figura 2.1 - Carroceria independente da estrutura do chassi



Fonte: Regulamento Maratona Universitária Da Eficiência Energética 2013.

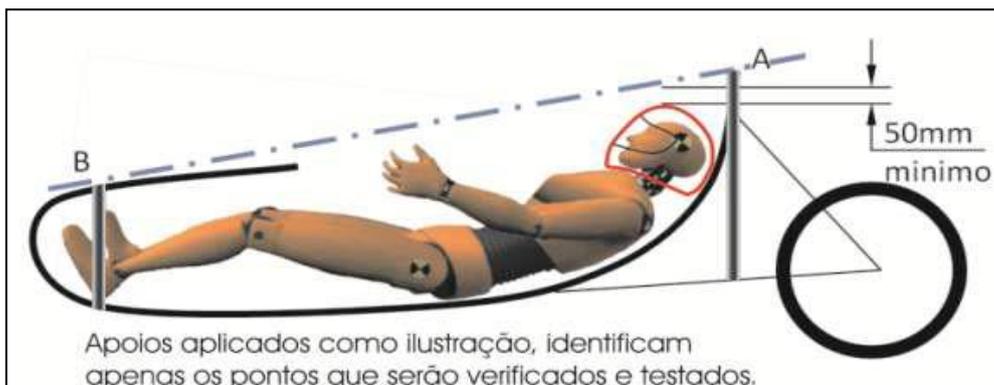
2.4.3 Chassi / monocoque

O chassi rígido deve proporcionar a função de uma célula de sobrevivência, permitindo que nenhuma parte do corpo do piloto encoste-se ao chão em caso de capotamento. O monocoque que geralmente é construído com materiais de boa resistência mecânica e de fácil moldagem (fibras resinadas ou similares) é uma construção que suporta uma boa carga estrutural. Estas chapas externas aplicadas na construção do veículo podem substituir a estrutura tubular que caracteriza um chassi, desde que comprovada sua resistência através do projeto apresentado na fase de inscrição, mas sujeita a esforços que poderão ser aplicados na fase de vistoria do veículo. São consideradas aqui a aplicação de fibra de carbono, fibra de vidro, com suas aplicações de resina, ou placas de acrílico termo moldado, como os materiais mais adequados para a construção das carrocerias.

2.4.4 Segurança do veículo

Conforme o regulamento, o carro deve ser regido de proteções na lateral do chassis e em torno da cabeça e dos pés, com um arco que envolve ambos, ou seja, uma barra de proteção superior e outra inferior, que se estenda paralela aos eixos do veículo. A barra superior instalada atrás do assento do piloto e a inferior sobre a posição dos pés, sendo integrada a estrutura tubular do veículo, conforme Figura 2.2. Esta barra de proteção se estende em largura, além dos ombros do piloto, quando este estiver acomodado e em posição de direção normal, com o cinto de segurança fixado, o mesmo é indispensável para a segurança do piloto (no mínimo de três pontos). O uso do capacete é obrigatório quando o piloto estiver com o carro em movimento. Os freios na maratona podem ser a disco acionado com os pés ou com a mãos.

Figura 2.2 – Barras de proteção



Fonte: Regulamento Maratona Universitária Da Eficiência Energética 2013.

2.4.5 Bitola dos eixos do veículo

A bitola máxima admissível é de 1250 mm em qualquer eixo. A bitola mínima é livre, mas caberá à organização solicitar uma comprovação de estabilidade na fase de apresentação do projeto, com a possibilidade de vir a realizar um teste durante o processo de vistoria do veículo. Este teste consiste em uma análise de inclinação lateral, ou, alguma outra forma de avaliação que assegure a estabilidade do veículo (o teste de inclinação lateral do veículo

consiste em posicionar o mesmo em uma superfície plana com uma inclinação de 45°, devendo o mesmo permanecer com todas as suas rodas sobre o piso).

2.4.6 Sistema de Freios e Transmissão

Os freios são avaliados também na etapa de vistoria, onde sua eficácia é comprovada através de um teste realizado em uma rampa inclinada, com 0,60 metros de altura e 3,90 metros de comprimento, onde o veículo posicionado com o piloto sentado em seu interior. O piloto aplica força em um dos sistemas de cada vez durante 30 segundos e o veículo não deverá se deslocar sobre este piso de avaliação.

O sistema de transmissão do veículo é livre devendo escolher o mais adequado ao projeto. O que é exigido são as obrigatórias proteções de correntes, correias, coroas, engrenagens e outros elementos que possam oferecer risco de lesões ao piloto ou outras pessoas que possam estar próximas ao veículo. A própria carenagem do veículo pode servir como elemento de proteção.

2.4.7 Sistema de direção

O sistema de direção deve permitir que o veículo faça um percurso com raio de giro mínimo de 10 (dez) metros. Este deve ser constituído de elementos rígidos e com resistência adequada, já que este é um dos sistemas mais importantes do ponto de vista da segurança. Materiais como tubos de PVC, bambu, plásticos e outros materiais que possam colocar em dúvida a integridade do sistema, não são aceitos no projeto. Não é admissível o uso de componentes que não ofereçam resistência a compressão, como cabos, arames, barbante, entre outros.

A coluna de direção possui no mínimo dois pontos de apoio ligados a estrutura do veículo, sendo um deles próximo ao volante e o outro próximo a extremidade oposta de coluna, para que esta tenha rigidez. É recomendado o uso de articulações do tipo terminal de rótula, junta esférica ou pivô. Articulações feitas diretamente sobre pinos ou parafusos são desaconselhadas.

Sistemas que apresentem deformações ou folgas excessivas serão reprovados na vistoria de segurança.

Não serão admitidos sistemas de direção acionados através de alavancas com movimento articulado “tipo manche” (alavanca de comando). Somente sistemas rotativos baseados em sistemas comerciais convencionais e atuais serão admitidos, ou seja, o volante deve rotacionar em torno de seu eixo principal e este eixo deve estar alinhado ao eixo longitudinal do veículo. Ainda assim, uma alavanca simples que gire em torno de um eixo principal não é admitido, porém esta alavanca pode ser dupla, formando uma configuração tipo “T” ou tipo “Y” (exemplo de um guidom de bicicleta ou moto). Esta configuração é proibida se existir a possibilidade de pelo menos uma das extremidades da alavanca ficar voltada para o piloto, que em caso de acidente pode sofrer ferimentos em decorrência do impacto contra a alavanca.

2.4.8 Sistema de Exaustão

Todo e qualquer gás resultante do funcionamento de um motor de combustão interna deve ser eliminado para fora da carroceria do veículo. O cano de escapamento deve ser voltado para baixo e para trás e não deve se estender além da extremidade traseira da carroceria do veículo. Todos os veículos devem concordar e primar pela aplicação dos níveis de padrões ambientais, por exemplo, a quantidade de fumaça ou cheiro.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do projeto, será utilizada uma metodologia seguindo as seguintes fases:

Etapa 01 – Coleta de dados;

Etapa 02 – Regulamento MUEE 2013;

Etapa 03 – Materiais Utilizados;

Etapa 04 – Equipamentos utilizados; e

Etapa 05 – Dimensionamento e detalhamento dos itens do carro.

3.2 COLETA DE DADOS

Serão utilizadas técnicas específicas tais como: desenho, consulta a catálogos técnicos, pesquisa bibliográfica, técnicas de criatividade, adaptação e melhoramento dos modelos já existentes, modelagem e simulação virtual, técnicas de fabricação e de teste, entre outras.

Para a realização do trabalho, serão necessários os seguintes instrumentos de pesquisa:

- Microcomputador com acesso a Internet;
- Software para desenho (SolidWorks);
- Software para simulação (SolidWorks Simulation);
- Pacote Office para desenvolver e elaborar o Projeto;
- Bibliografia relacionada com o tema (livros, artigos, apostilas);
- Laboratórios de fabricação mecânica.

Para o desenvolvimento do Carro Econômico foram seguidos requisitos que estão descritos no regulamento MUEE (Maratona Universitária de Eficiência Energética) 2013. O projeto foi executado com intuito de atender todos os requisitos para que ao final fosse aprovado para participação na competição.

3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

Com base nos referenciais teóricos mencionados, foi construído o primeiro carro econômico da FAHOR. Para a construção do projeto foi utilizado os materiais descritos no Quadro 1.

Quadro 3.1 - Apresentação dos materiais utilizados e suas descrições

Material	Descrição
Tubo quadrado de alumínio	30x30 parede 2mm
Tubo retangular de alumínio	20x30 parede 2mm
Tubo redondo de alumínio	Ø 3/4" parede 1,5mm
Tubo retangular alumínio	40x50 parede 2,5mm
Fibra de carbono	200P
Resina	Epóxi
Catalisador	Endurecedor
Rodas de bicicleta	aro 21" com câmara
Freios a disco	de bicicleta
Manetes de freio	de bicicleta
Coroa	Moto ASA 40

3.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a execução do projeto se fez uma criteriosa escolha dos tipos mais utilizados na confecção de uma máquina, onde foram utilizados os seguintes equipamentos:

Solda "TIG" em alumínio - onde foi soldado chassis tubular, barras de proteção, ou seja, toda a parte estrutural do projeto.

Solda Mig-Mag - Utilizada principalmente para unir elementos de aço carbono, que no caso do carro econômico só se utilizou esse método de soldagem, para unir as peças da barra de direção.

Furadeira manual - Foi de suma importância para a aplicação de furos, onde foi fixado a carcaça de fibra de carbono através de rebites, parafusos e outros elementos.

Esmerilhadora manual – Utilizada para dar acabamento, ou seja, tirar excesso de rebarbas, preparação de superfícies a serem soldadas e para desbaste de soldas muito salientes.

Fresadora universal – utilizada principalmente para desbastar arestas cortantes e também para fazer furos alongados na base onde foi instalado o motor do carro econômico.

Torno universal – Foram utilizados os tornos que a instituição disponibiliza para os alunos, para usinar peças que compõe na barra de direção, bem como buchas, barras e entre outras.

Além dos equipamentos citados, também foram utilizados ferramentas que auxiliam no aperto e na fixação de componentes. Dentre essas ferramentas destacam-se principalmente as chaves de aperto (chaves de boca e estrela combinadas ou não, Philips, fenda, martelos) e uma rebidadeira para fixação da carenagem no chassi do veículo.

3.5 DIMENSIONAMENTO DOS ITENS DO CARRO

O dimensionamento dos itens do carro é de suma importância, pois através dele poderemos avaliar se os componentes do carro realmente irão suportar a carga aplicada. Dentre esses componentes serão dimensionado os seguintes componentes: Chassi, transmissão, sistema de direção e freios.

3.5.1 Dimensionamento do chassi

Para dimensionar o chassi do protótipo é necessário determinar o módulo de resistência do material utilizado na fabricação. O módulo de resistência (W) é a relação entre o momento de inércia relativo ao eixo baricêntrico e a distância máxima entre o eixo e a extremidade da secção transversal estudada. o módulo de resistência é dado pela equação:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{max}} \quad (3.1)$$

Onde J_x é o momento de inércia [m^4] e $y_{máx}$ é a distância máxima da secção [m]. O módulo de resistência é dado em m^3 . O momento de inércia de uma superfície é definido através da integral de área do produto entre os infinitésimos da área que compõem e as distâncias dos eixos elevadas ao

quadrado. De acordo com Melconian (1999), o momento de inércia é calculado pela equação:

$$J_x = \int_A y^2 d_A \quad (3.2)$$

$$J_y = \int_A x^2 d_A \quad (3.3)$$

onde x e y representam a distância ao centro de massa do corpo [m] e d_A é representa a área [m²]. A unidade final do momento de inércia é m⁴.

Melconian (1999) ressalta que o momento de inércia é importantíssimo, pois o dimensionamento dos elementos de construção fornece através de valores, uma noção de resistência da peça.

O raio de giração (i), segundo Melconian (1999), consiste em uma distância particular entre a superfície e o eixo de referência. Para a determinação do raio de giração quando se tem momento de inércia, utiliza-se a expressão:

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}} \quad (3.4)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}} \quad (3.5)$$

Portanto o produto entre a distância elevada ao quadrado e a área total da superfície também determina o momento de inércia da superfície em relação ao eixo, conforme segue:

$$J_x = A i_x^2 \quad (3.6)$$

$$J_y = A i_y^2 \quad (3.7)$$

3.5.2 Dimensionamento do sistema de transmissão

Conforme Melconian (2012), para o dimensionamento do sistema de transmissão, o principal critério que se deve levar em consideração é o critério de desgaste do mesmo. Para assegurar o perfeito funcionamento da transmissão os valores encontrados para a roda dentada e a corrente devem ser criteriosamente corretos. Deve ser considerada desgastada a corrente quando a mesma atingir um alongamento em suas talas na faixa de 3% do comprimento original. Também, deve ser seguido as especificações para determinar o número mínimo de dentes expresso na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – especificações para o número de dentes em correntes.

	Nº mínimo de dentes	Nº máximo de dentes
Correntes de rolos	$Z \min \geq 9$	$Z \max \leq 120$
Correntes silenciosas	$Z \min \geq 13$	$Z \max \leq 140$

Fonte: MELCONIAN, Sarkis. Elementos de máquinas. 10. ed. São Paulo: Érica, 2012.

A Tabela 3.2 apresenta indicações para a rotação máxima do pinhão de acordo com o passo correspondente.

Tabela 3.2 – Rotação máxima do pinhão para o passo da corrente.

Fonte:

Passo	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1.1/4"
rpm máx	3300	2650	2200	1650	1300

MELCONIAN, Sarkis. Elementos de máquinas. 10. ed. São Paulo: Érica, 2012.

Para determinar a carga máxima suportada pela corrente é utilizada a equação:

$$F_{max} = \frac{F_{rup}}{n_s \cdot K} \quad (3.8)$$

Em que:

F_{max} = carga máxima que deve atuar na corrente (N)

F_{rup} = carga de ruptura da corrente (N)

n_s = fator de segurança dimensional)

K = fator de operação (adimensional)

O Fator de operação (K) é na seguinte forma:

$$K = k_s \cdot k_{(l)} \cdot k_p \quad (3.9)$$

O número de elos da corrente é expresso pela a equação:

$$Y = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2c}{t} + \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2\pi} \right) \cdot \frac{t}{c} \quad (3.10)Z$$

Onde:

Y = Numero de elos (adimensional)

Z_1 = Numero de dentes no pinhão

Z_2 = Numero de dentes da coroa

t = passo (mm)

C = distância entre centros (mm)

A força exercida na correia, também chamada de força tangencial, é determinada por meio das equações (3.11) e (3.12), conforme segue:

$$F_T = \frac{P}{V_c} \quad (3.11)$$

$$F_T = \frac{2M_T}{d_o} \quad (3.12)$$

Onde:

F_T = Força tangencial (N)

M_T = Torque (N.m)

P = Potência transmitida (W)

V_C = Velocidade periférica da corrente (m/s)

d_o = diâmetro primitivo da engrenagem (mm)

Para o cálculo de velocidade da corrente usa-se a equação da velocidade periférica, dada como:

$$V_p = \frac{z_1 \cdot t \cdot n_1}{60 \cdot 1000} \quad (3.13)$$

Em que:

V_p = Velocidade da corrente (m/s)

Z_1 = Numero de dentes do pinhão

t = passo da corrente (mm)

n = rotação

É importante observar que as transmissões por correntes devem ser utilizadas somente em eixos paralelos, onde a relação de transmissão deve ser $RT \leq 10$, mas o ideal seria de $RT \leq 6$.

Para calcular a área da superfície de contato em correias de simples articulação, segue a expressão:

$$A_s = 0,5 d_r \cdot b_r \quad (3.14)$$

Onde:

A_s = área da superfície de contato (mm^2)

d_r = diâmetro do rolo (mm)

b_r = largura do rolo (mm)

Para determinar a carga atuante no eixo é utilizada a seguinte relação:

$$F_{arv} = F_T \cdot 2 \cdot k_0 \cdot q \cdot C \quad (3.14)$$

onde:

F_{arv} = carga atuante no eixo (N)

F_T = carga tangencial (N)

k_0 = fator de posição (adimensional)

q = peso da corrente (N/m)

C = distância entre centros [m]

Para o fator de posição os seguintes valores são apresentados:

$k_0 = 1$ (na posição vertical)

$k_0 = 2$ (45°)

$k_0 = 4$ (na posição horizontal)

3.5.3 Dimensionamento do sistema de direção

Para o dimensionamento do sistema de direção optou-se por cálculos abordados em bibliografias que tratam de sistemas que sofrem torção em torno de seu eixo principal. Por esse fator usa-se o método de cálculo de momento torçor ou torque. Para Melconian (1999) o momento torçor é definido pelo produto entre a intensidade da carga aplicada e a distância entre o produto de aplicação da carga e o centro da secção transversal. Tem-se então a equação:

$$M_T = F \cdot S \quad (3.15)$$

Em que:

M_T = momento torçor ou torque (N.m)

F = carga aplicada (N)

S = distância entre o ponto de aplicação e o polo (m)

Também é necessário levar em consideração a tensão de cisalhamento na torção, que por sua vez é definida através da equação:

$$\tau = \frac{M_T \cdot \rho}{J_P} \quad (3.16)$$

onde J_p é o momento de inércia dado por J_x e J_y . A distância do centro à superfície é dada por ρ , onde, para o cálculo do $\rho = 0$, $\tau = 0$ (no centro da secção transversal, a tensão é nula), e, para $\rho = r$, temos a equação:

$$\tau_{\max} = \frac{M_T \cdot r}{J_p} \quad (3.17)$$

Para determinarmos a tensão máxima, devemos analisar que ela ocorre na distância máxima entre o centro e a periferia ou seja na superfície. Considerando o módulo de resistência polar, temos a expressão:

$$W_p = \frac{J_p}{r} \quad (3.18)$$

Substituindo a expressão (3.18) na (3.17), temos a equação:

$$\tau_{\max} = \frac{M_T}{W_p} \quad (3.19)$$

Onde:

τ_{\max} = tensão máxima de cisalhamento da torção (Pa)

M_T = momento torçor ou torque (N.m)

J_p = momento polar de inércia (m^4)

r = raio da secção transversal (m)

W_p = módulo de resistência polar da secção transversal (m^3)

Com base em Melconian (1999) as propriedades que sofrem torção podem sofrer distorção, onde o torque atuante na peça provoca uma deformação devido ao cisalhamento. Tal deformação ou deslocamento é determinado em radianos (rad). através desse conceito a distorção é desenvolvida pela a equação:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \quad (3.20)$$

Onde:

γ = distorção (rad)

T = tensão atuante (Pa)

G = módulo de elasticidade transversal do material (Pa)

Seguindo o contexto de Melconian (1999) da torção exercida nos materiais tem-se o ângulo de distorção que é descrita pela a expressão:

$$\theta = \frac{M_T \cdot l}{J_P \cdot G} \quad (3.21)$$

Sendo que:

Θ = ângulo de torção (rad)

M_T = momento torçor ou torque (N.m)

l = comprimento da peça (m; cm; mm;...)

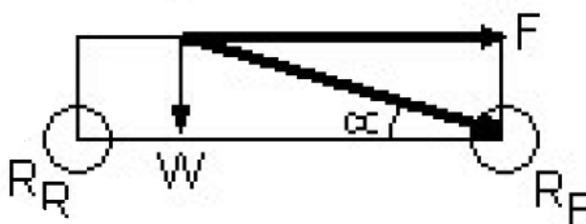
J_P = momento polar de inércia (m⁴; cm⁴; mm⁴;...)

G = módulo de elasticidade transversal do material (Pa)

3.5.4 Dimensionamento do sistema de freios

Conforme Pogoreldky (2004), o dimensionamento do sistema de freios a disco pode ser calculados a partir da força máxima aplicada, que é expressa pela a equação (3.22), conforme a figura 3.3.

Figura 3.3 – Esquema para sabermos a força desconsiderando o atrito.



Fonte: POGORELSKY G.J. Apostila **sistemas de freios**, Freios para bicicleta (2004).

$$tg\alpha = \frac{W}{F} \quad (3.22)$$

Podemos considerar que:

α = é o ângulo

W = é a altura

F = é distância entre centros de rodas

Com a força sem atrito calculada podemos calcular a força máxima considerando o atrito, que, conforme a tabela 3.3, podemos utiliza-la para determinar o coeficiente de atrito a partir do material do sistema de freio, esse material corresponde a aço sem lubrificação

Tabela 3.3 – Valores de atrito estático (μ_e) e cinético (μ_c) em vários tipos de materiais

Materiais	μ_e	μ_c
Madeira/madeira	0,4	0,2
Gelo/gelo	0,1	0,03
Metal/metal (com lubrificação)	0,15	0,07
Aço/aço (sem lubrificação)	0,7	0,6
Borracha/cimento seco	1	0,8
Articulações dos membros humanos	0,01	0,01

Fonte: http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Atrito_histria_cincia/Atrito_hist_cincia.html

Então, para calcular a força máxima considerando o atrito podemos equaciona-la na forma:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{F}{\mu} \quad (3.23)$$

Onde:

$F_{m\acute{a}x}$ = Força máxima considerando o atrito

F = forca aplicada sem atrito

μ = coeficiente de atrito

A partir das forças calculadas obtem-se o cálculo da força necessária para o carro parar em um determinado tempo, essa por sua vez é equacionada na forma:

$$F = m \cdot \frac{v}{t} \quad (3.24)$$

Onde:

F = é a força necessária para parar o equipamento (N)

m = massa total do veiculo e do piloto (Kg)

v = velocidade (m/s)

t = tempo (s)

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O projeto do carro econômico foi desenvolvido com o principal intuito de participar da competição MUEE (Maratona Universitária da Eficiência Energética). Dessa maneira, foram realizadas várias pesquisas até obter a concepção final, ou seja, foram feitos diversos levantamentos de informações e características necessárias a serem analisadas para concluirmos de maneira eficaz o presente projeto. Em tópicos, serão citadas todas as especificações vistas ao decorrer do trabalho, conforme segue:

Dimensionamento e materiais utilizados – Compreendem todas as dimensões do projeto e os materiais utilizados apropriados para o desenvolvimento do veículo, levando em consideração a resistência e o baixo peso do material.

Motor – Identifica através de cálculos a capacidade de carga máxima e seu rendimento visando desempenhar com sucesso o deslocamento previsto, bem como avaliar a velocidade e rotação envolvida para o desenvolvimento do processo.

Determinação das rodas – Demonstração das rodas escolhida.

Projeto final – Demonstra o projeto final desenvolvido.

Análise e resultados – Se destina a analisar o projeto como um todo em sua fase de desenvolvimento e os resultados obtidos.

4.1 DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DA ESTRUTURA TUBULAR DO CHASSI

Para o calcularmos a estrutura do chassi, foi utilizada a equações de momento de inercia, raio de giração e modulo de resistência (Capítulo 3).

Para uma secção tubular retangular 50 x 40 mm calcula-se primeiramente o momento de inercia que é utilizada as equações (3.2 e 3.3). Convertendo as medidas da secção indicadas no Quadro 1 de mm para cm, teremos 5 x 4 cm. Através de relações matemáticas, temos para o momento de inércia em x e y na forma:

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{(b-l) \cdot (h-l)^3}{12} \quad (4.1)$$

$$J_y = \frac{h \cdot b^3}{12} - \frac{(b-l) \cdot (h-l)^3}{12} \quad (4.2)$$

Onde l é a espessura do material, que conforme o Quadro 3.1 é de 0,25 cm, e, b e h representam a base e a altura, respectivamente. Resolvendo as equações 4.1 e 4.1 temos que J_x é igual a $8,79 \text{ cm}^4$ e J_y é $12,47 \text{ cm}^4$.

O cálculo do raio de giração se dá pelas expressões (3.4 e 3.5). Considerando os momentos em x e y já calculados e uma área de $3,84 \text{ cm}^2$ para o raio de giração em x e y , tem-se $i_x=1,51 \text{ cm}$ e $i_y=2,03 \text{ cm}$.

O módulo de resistência é calculado conforme a equação (3.1). Reescrevendo a mesma equação, para os eixos x e y , temos:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (4.3)$$

$$W_y = \frac{J_y}{x_{\max}} = \frac{h \cdot b^2}{6} \quad (4.4)$$

Considerando os valores indicados no Quadro 3.1, temos que $y_{\max}=2,82 \text{ cm}$ e $x_{\max}=3,53 \text{ cm}$. Dessa forma, W_x resulta em $3,12 \text{ cm}^3$ e W_y em $3,53 \text{ cm}^3$.

Para a secção tubular retangular com dimensões 30 x 20 mm, calcula-se da mesma forma o momento de inercia (equações 3.2, 3.3, 4.1 e 4.2), o raio de giração (equações 3.4 e 3.5) e o módulo de resistência (equações 3.1, 4.3 e 4.4). Convertendo as medidas da secção de mm para cm, teremos 3 x 2 cm. Utilizando as equações mencionadas, são determinados os valores $J_x=0,64 \text{ cm}^4$, $J_y=1,21 \text{ cm}^4$, $i_x=0,74 \text{ cm}$, $1,26 \text{ cm}$ e, finalmente, $W_x=3,12 \text{ cm}^3$ e $W_y=3,53 \text{ cm}^3$.

Para a secção tubular redonda de diâmetro 3/4" ou 19,05mm e parede de 1,5 mm, o momento de inércia é calculado de acordo com a seguinte relação:

$$J_x = J_y = \frac{\pi}{64} (D_{\text{ext}}^4 - D_{\text{int}}^4) \quad (4.5)$$

Considerando o diâmetro externo (D_{ext}) de 1,905 cm e o diâmetro interno (D_{int}) de 1,605 temos $J_x=J_y=0,32 \text{ cm}^4$.

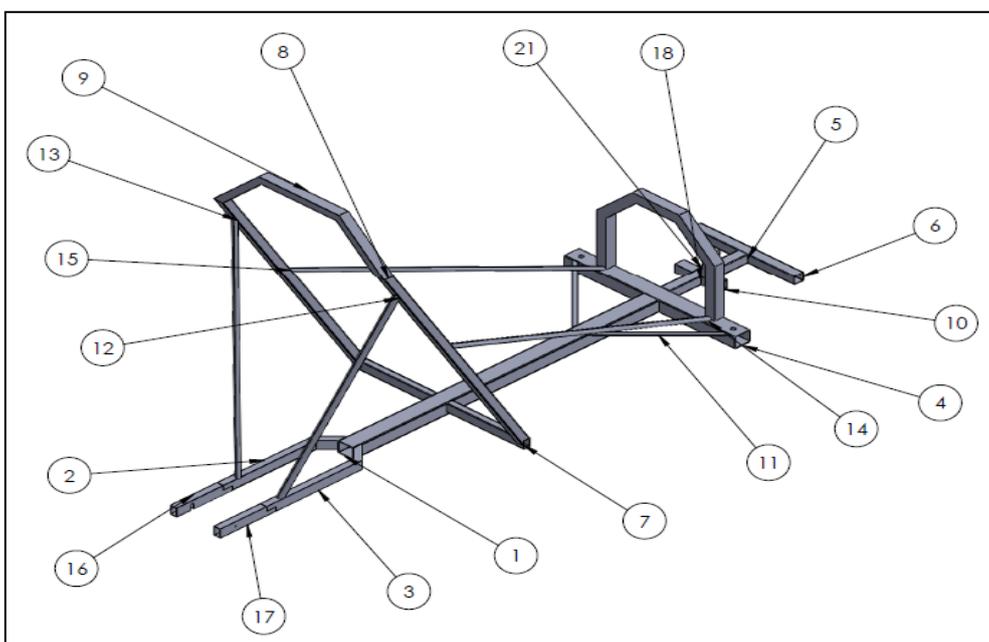
O cálculo do raio de giração considerando uma área de $5,7 \text{ cm}^2$ resulta em $i_x=i_y=0,24\text{cm}$.

O módulo de resistência é equacionado conforme citado, resultando em $W_x=W_y=0,33\text{cm}$.

Para a estrutura do carro foi utilizado alumínio, que possui uma ótima maleabilidade, ou seja, um material de fácil manuseio e aplicação de processo de fabricação, tendo então que suportar a massa de uma pessoa de 76 Kg.

A estrutura do chassi foi projetada com tubos em alumínio 6061-T6. Esse material é altamente leve (peso específico em torno de 1/3 do aço) e resistente, além de ser fácil o manuseio para cortes e furos que o projeto possui. O projeto apresenta no chassi do carro uma estrutura tubular central e a partir dessa estrutura citada foram colocados reforços, encostos e proteções para segurança a fim de proteger a cabeça e os pés do piloto, conforme mencionado e especificado no regulamento. Conforme expressos na Figura 4.1, é possível verificar que a estrutura do chassi contém 21 partes, estas foram unidas por meio de processo de solda TIG, que une os materiais por meio de uma fusão dos materiais com adição de material (vareta da liga de alumínio).

Figura 4.1 – Sistema estrutural final do carro econômico



No Quadro 4.1, conforme a numeração que se encontra nos círculos da Figura 4.1, pode-se verificar o código ou nome do item e suas dimensões contendo largura, altura, comprimento e espessura de parede, respectivamente e a quantidade que foi utilizado na execução do chassi.

Quadro 4.1 – Dimensões finais do carro econômico

Nº DO ITEM	CÓDIGO OU NOME DO ITEM	DIMENSÕES	QDT.
1	PF-tubo central estrutural	Tubo ret. 50 x 40 x 985 #2,0mm	1
2	PF-meio garfo	Tubo ret. 30 x 20 x 350 # 1,5mm	1
3	PF-meio garfonoposto	Tubo ret. 30 x 20 x 350 # 1,5mm	1
4	PF-tubo central estrutural direcao	Tubo ret. 50 x 40 x 550 # 1,5mm	1
5	PF-tubo bico	Tubo quad. 30 x30 x 250 #1,0mm	1
6	PF-tubo bico lateral	Tubo quad. 30 x30 x 331 #1,0mm	1
7	PF-tubo lateral costas	Tubo ret. 30 x 20 x 250 #1,0mm	2
8	PF-tubo lateral costas apoio	Tubo quad. 25 x25 x 897# 1,0mm	2
9	PF-arco cabeça	Tubo ret. 30 x 20 x 671 # 1,0mm	1
10	PF-arco pes	Tubo ret. 30 x 20 x 845 # 1,0mm	1
11	PF-cantoneira ref front	Cantoneira 12,7 x 12,7 x 325 #2mm	2
12	Peça1^PF-CJ SD CHASSI FINAL	Tubo red. D 19,05 x 730 #1,0mm	1
13	EspelharPeça1^PF-CJ SD CHASSI FINAL	Tubo red. D 19,05 x 730 #1,0mm	1
14	Peça3^PF-CJ SD CHASSI FINAL	Tubo red. D 19,05 x 930 #1,0mm	1
15	EspelharPeça3^PF-CJ SD CHASSI FINAL	Tubo red. D 19,05 x 930 #1,0mm	1
16	PF-complemento roda tras	Tubo ret. 30 x 20 x 180 #1,5mm	1
17	PF-Espelharcomplemento roda tras	Tubo ret. 30 x 20 x 180 #1,5mm	1
18	PF-tubo pedal	Tubo quad. 30 x 30 x55 #1,0mm	2
19	PF-orelha	Tubo quad. 30 x 30 x 20 #1,0mm	1
20	PF-Espelharorelha	Tubo quad. 30 x 30 x 20 #1,0mm	1
21	PF-pedal	Tubo ret. 50 x 40 x 100 #1,5mm	1

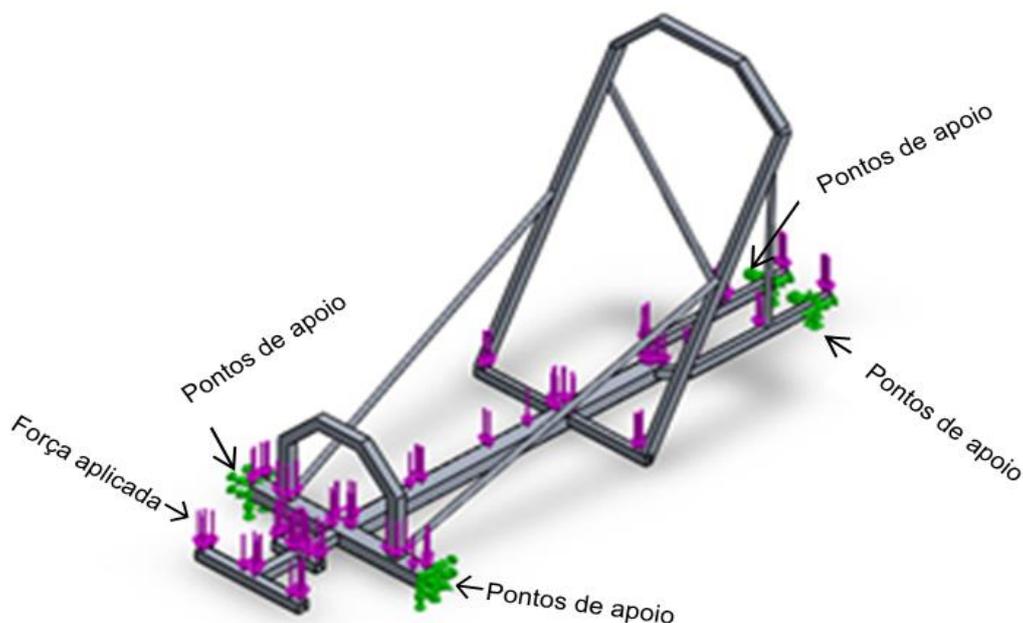
Depois de definido o material e as dimensões da estrutura, para sabermos se o chassi está suportando a massa ou força peso do piloto, usamos a ferramenta do software Solidworks chamada Simulation Xpress, onde contém toda as especificações do chassi, as partes críticas, onde ele sofrerá maior deformação e as propriedades do material, conforme Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Estudo de propriedades dos componentes analisados no
Simulation Xpress Solidworks

Estudo de propriedades		
Propriedades		componentes
Nome		6061-T6 (SS)
Tipo de modelo		Isotrópica Elastica Linear
Critério de falha predeterminado	Max von Mises	
Limite de escoamento	2.75e 008 N / m ^ 2	
Resistência à tração	3.1E 008 N / m ^ 2	
Módulo elástico	6.9e 010 N / m ^ 2	
Coeficiente de Poisson	0,33	
Densidade de massa	2700 kg / m ^ 3	
Cisalhamento	2.6e 010 N / m ^ 2	
Coeficiente de expansão térmica	2.4e-005 / Kelvin	
Forças resultantes		
Componentes	Força de reação (N)	Momento de reação (N • m)
X	0.0448723	0
Y	749.914	0
Z	-0.0708885	0
Resultante	749.914	0
Análise de cargas		
Detalhes de carga		Referencias
Entidades		1 rosto (s)
Tipo		Aplicar força normal
Valor		750 N

Pelo mesmo software, foram demonstrados os pontos onde são aplicadas as cargas, sendo 4 pontos de apoio indicados com setas na cor verde (setas pontos de apoio das rodas) que se localizam na parte frontal e posterior da estrutura do chassi, e as forças aplicadas estão indicadas com setas na cor violeta (seta força aplicada, distribuídas ao longo da estrutura). Adotou-se 750 N de força aplicada em torno de toda a estrutura central do chassi tubular, demonstrado no Quadro 4.2. Conforme Figura 4.2 é possível observar detalhadamente os pontos de apoio e as forças aplicadas no componente estrutural do protótipo. Na Figura 4.3 podemos observar que a força foi aplicada uniformemente, e na Figura 4.4 a deformação que o material poderá sofrer.

Figura 4.2 – Pontos onde a carga foi aplicada



Baseado nos dados apresentados anteriormente, contendo o estudo de propriedades dos materiais da estrutura avaliada, se fez uma demonstração das partes mais críticas em torno de todo estrutural, que está demonstrado nas cores azul, verde, amarelo e vermelho, onde, cada uma dessas cores identifica a intensidade em que o material apresenta deformação, na cor azul por exemplo é a área em que menos deformação sofrerá o material, já na cor vermelha ocorre a parte crítica. A Figura 4.3 e 4.4 nos mostra que pela força de Von Mises o material praticamente não se deforma. A força de Von Mises é um escalar positivo que descreve um estado de tensão exercido no material analisado, sendo esta definida pelas tensões normais (TAVARES e FONSECA, 2012).

Figura 4.3 – Simulação da força aplicada pelo método de Vom Mises

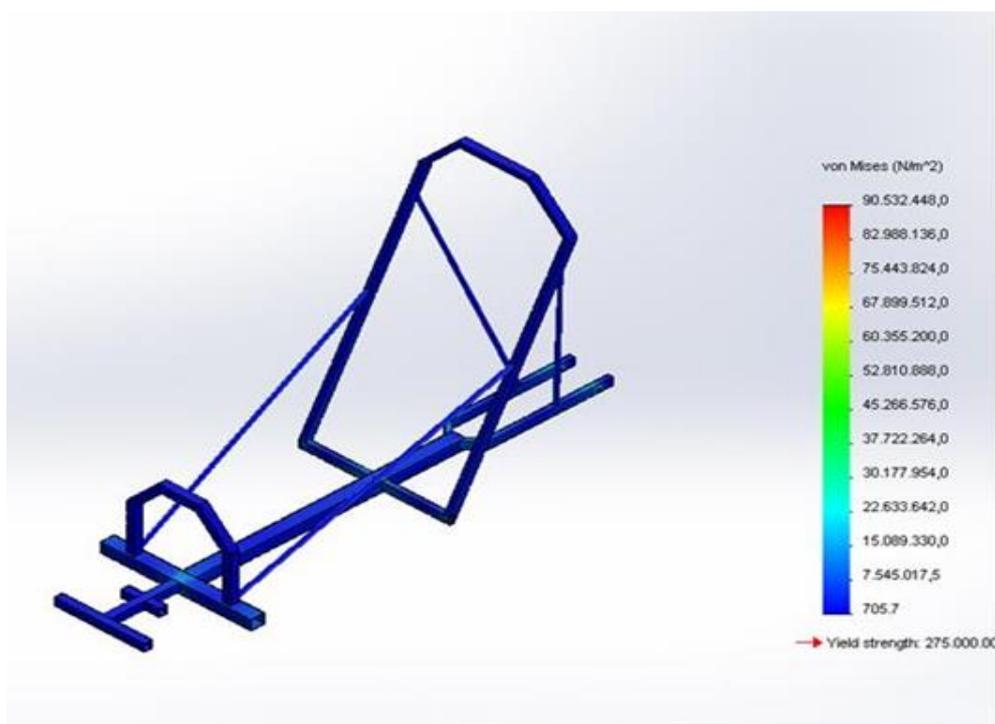
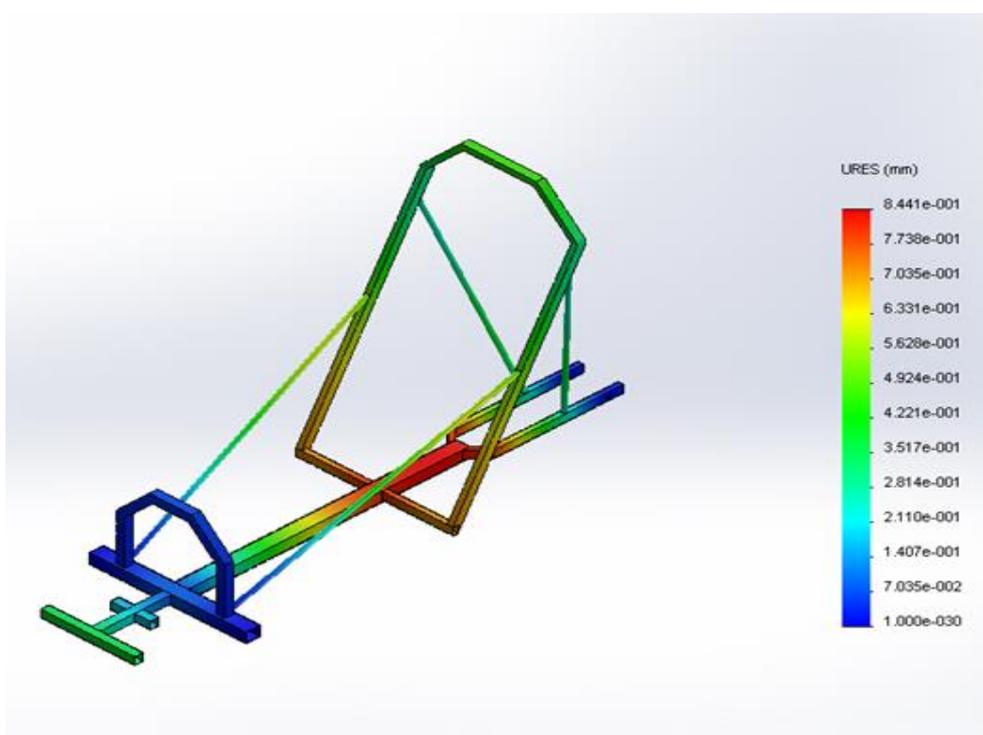


Figura 4.4 – Simulação da deformação que o material sofre

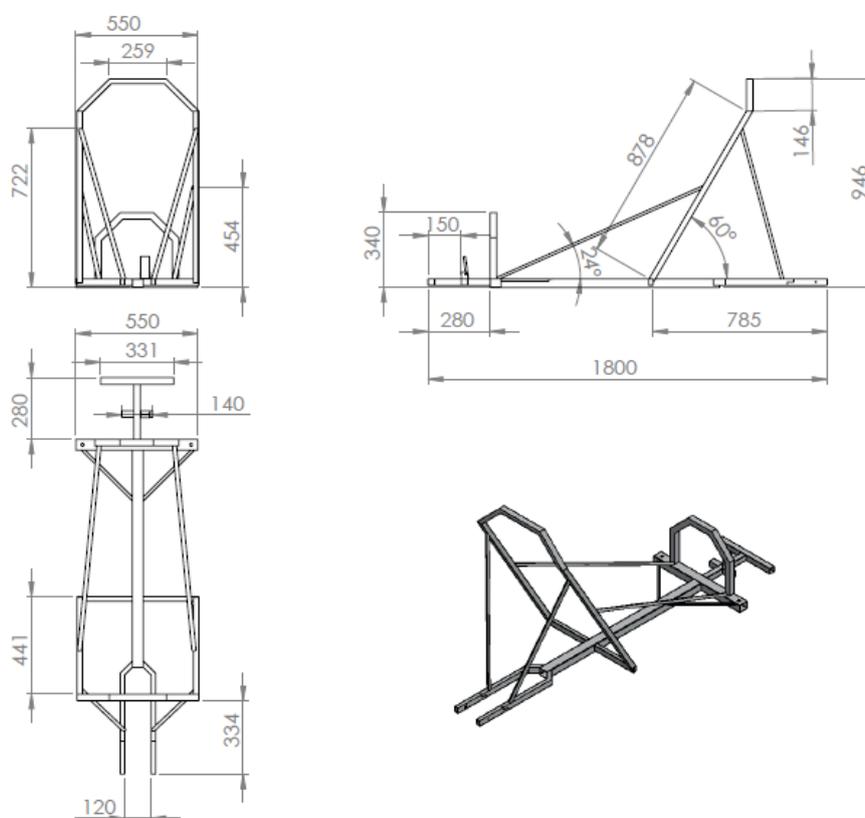


Podemos dizer que com os resultados apresentados a estrutura projetada suportará uma força peso maior que o requisito inicial (750 N), dando assim mais confiabilidade e segurança ao projeto executado. O chassi do

veículo pesa em torno de 3,423 Kg, pois ele foi fabricado em tubos e cantoneiras de alumínio. O carro aguentará estaticamente e em movimento uma pessoa de 100 Kg, sem a consideração de um fator de segurança.

Verifica-se que o chassi do veículo projetado possui um projeto adequado para a situação proposta, sofrendo uma deformação máxima de 0.844 mm. Na figura 4.5 podemos observar o conjunto montado do chassi e suas dimensões.

Figura 4.5 – Detalhamento do chassi



4.2 DIMENSIONAMENTO E DETERMINAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Para o projeto do sistema de transmissão deve ser levado em consideração o número mínimo de dentes do pinhão. Com isso, podemos saber qual será o número mínimo de dentes da coroa. Esse número mínimo de dentes deverá ser $Z_1 \geq 9$. O pinhão utilizado apresenta 10 dentes, sendo assim o número mínimo da coroa deve ser $Z_2 \leq 120$. Seguindo a tabela 3.1 e

tomando por nota que o passo da corrente é de 1" ou 25,4 mm, é possível calcular a carga máxima aplicada com a equação (3.11). Com uma velocidade periférica de 6,99 m/s (determinada pela equação 4.5, onde o número de tentes do pinhão é $Z_1=10$, o passo da corrente é $t=25,4$ e a rotação máxima do pinhão é $n_1=1650$ rpm) e uma potência de 850 W, a carga máxima será de $F_{max} = 121,6$ N.

$$V_p = \frac{Z_1 \cdot t \cdot n_1}{60 \cdot 1000} \quad (4.5)$$

Onde:

Z_1 = número de dentes do pinhão

t = passo da corrente [mm]

n_1 = rotação máxima do pinhão [rpm], conforme a tabela 3.2.

Para calcular o número de elos devemos primeiramente saber a distância entre centros, que é dado pela a equação:

$$C = \frac{t}{4} \left[y - \frac{Z_1 - Z_2}{2} + \sqrt{\left(y - \frac{Z_1 - Z_2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2} \right] \quad (4.6)$$

Para a correta determinação da distância entre centros, ainda é necessário encontrar o número de elos y .

Para o cálculo do número de elos ou rolos temos:

$$y = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2C}{t} + \left(\frac{Z_1 - Z_2}{2\pi} \right) \cdot \frac{t}{C} \quad (4.7)$$

Na determinação do número de elos através da equação (4.7) é necessário estimar uma distância entre centros arbitraria, a fim de encontrar um valor inicial (uma estimativa indicada de o valor de 40 vezes o valor do passo). Então, aplica-se a equação (4.6) para o valor correto da distância entre centros.

Determinados tais valores, onde $Z_1=10$, $Z_2= 37$, $t=25,4$ mm, são encontrados os valores de 176 elos com uma distância entre centros de 1927,03 mm.

Para o cálculo da carga de ruptura da corrente

$$F_{\max} = \frac{F_{rup}}{n_s \cdot K} \quad (4.8)$$

Considerando na equação (4.8) os valores de $n_s=2$ e $k=4$, temos que $F_{rup}=972,8$ N.

A área de superfície de contato é determinada na forma:

$$A_s = 0,5 d_r \cdot b_r \quad (4.9)$$

Considerando na equação (4.8) $d_r=30$ e $b_r=15,875$, a área de contato é estimada em $238,125$ mm².

A carga atuante no eixo é dada pela a equação:

$$F_{arv} = F_T \cdot 2K_o \cdot q \cdot c \quad (4.10)$$

Sabendo que a força na corrente é de 850 N, o fator de operação K_o é 4, o peso da corrente (q) é 14,715 N/m e a distância entre centros é de 1,93 m, a carga atuante F_{arv} é estimada em 193,12 kN.

Com a análise referente aos tipos de transmissões existentes no mercado foi definido como melhor opção de transmissão o sistema direto, ou seja, a realização de movimento se dará através de um motor a gasolina de 4 tempos carburado com uma redução ligada a uma catraca e uma coroa. Tal escolha se dá ao bom rendimento e fácil processo que o sistema proporciona para manutenção..

A eficiência econômica da transmissão é bastante alta, de 96% a 99% caso bem alinhadas e com corrente nova e bem lubrificada, variando apenas a força aplicada à transmissão (em geral, quanto maior a força maior a eficiência mecânica). Coroas e catracas de tamanhos diferentes transmitem maior ou menor velocidade para a máquina. Se a coroa motora, isto é a coroa que

transmite e fornece o movimento, é maior que a movida, isto é, aquela que recebe o movimento, a velocidade transmitida para a máquina é maior (maior rpm), mas se ocorrer o contrário, terá uma redução de velocidade. Isso ocorre na redução do motor escolhido que será exposto no tópico 4.3.

4.3 DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DO SISTEMA DE DIREÇÃO

Para o dimensionamento do sistema de direção usa-se a tensão admissível indicada, que no caso, essa tensão corresponde 500,31 N . A barra principal da direção é do material de aço carbono 1020, e esse está sujeito a torção, para sabermos se o material irá resistir a torção, podemos calcular o momento torçor, definido pela equação (3.15). Considerando que a distância de entre o ponto de aplicação da força e o polo é de 0,63 m e a força aplicada é de 500,31 N, o momento torçor é de 630,4 N.m.

Para o cálculo da tensão de cisalhamento, é utilizada a equação (3.17), onde, o raio é de $4,7625 \times 10^{-3}$ m e o momento de inércia é $8,9 \times 10^{-6}$ m⁴. O torque estimado é de 337,15 kN.

Com os valores estimados, com um módulo de elasticidade de 80×10^9 a distorção do material (equação 3.20) é estimada em $4,21 \times 10^{-6}$ rad. O ângulo de torção (equação 3.21), considerando um comprimento da peça de 0,63 m, é então determinado em $5,58 \times 10^{-4}$ rad.

O sistema de direção projetado é baseado no regulamento da competição, possuindo uma barra de direção adaptada a um sistema de direcionamento interligado as rodas dianteiras, o qual transmite o movimento acionado pelo o piloto do carro ao volante diretamente para as rodas. Esse sistema foi escolhido para o projeto devido à necessidade de se ter uma direção com poucas perdas e fácil fabricação. Para tal, o sistema foi dimensionado a partir das medidas do piloto, conforme Figura 4.6, para uma melhor ergonomia, não tendo dificuldade ao manusear esse sistema. Na Figura 4.7 estão expressas as dimensões do conjunto da barra de direção que apresenta medidas do diâmetro, comprimento e espessura.

Figura 4.6 – Medidas do piloto

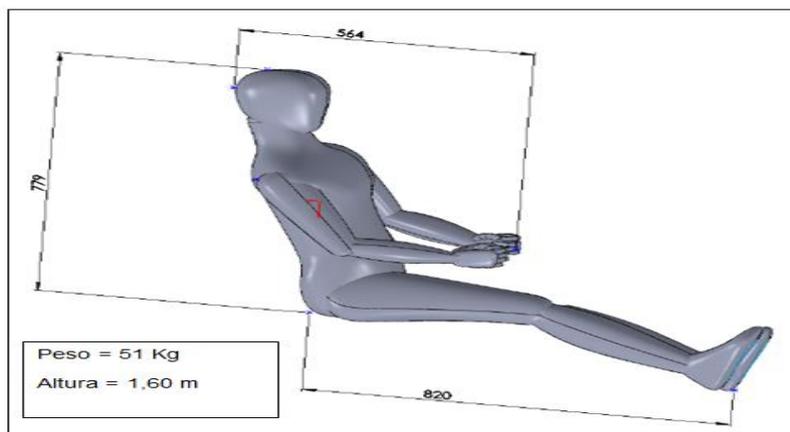
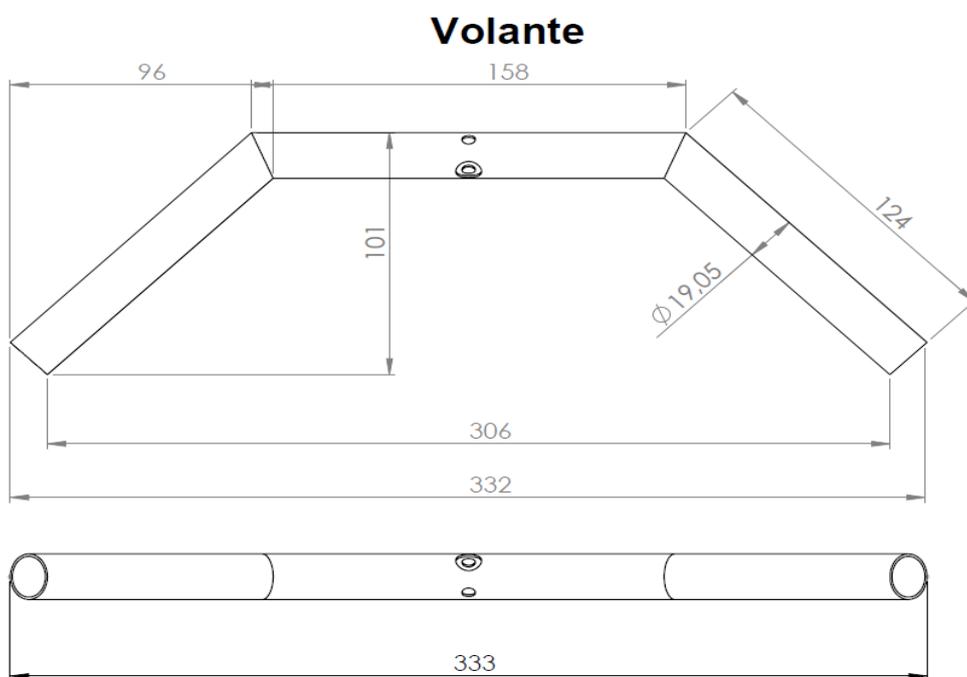
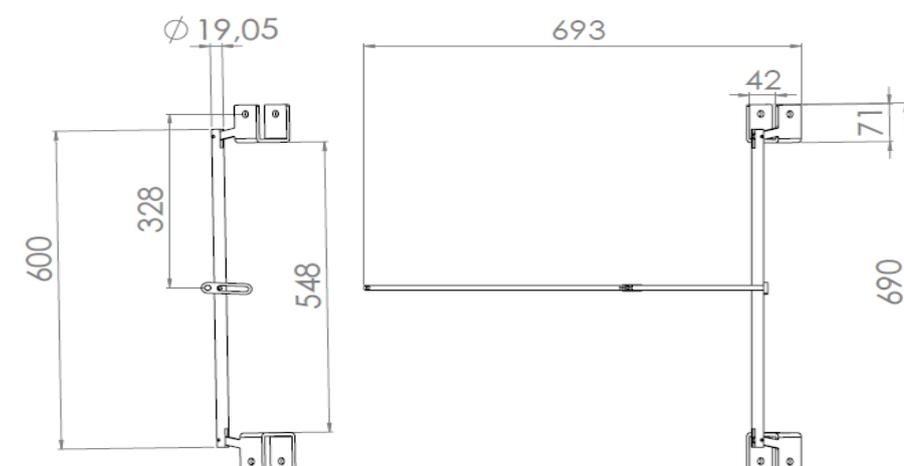
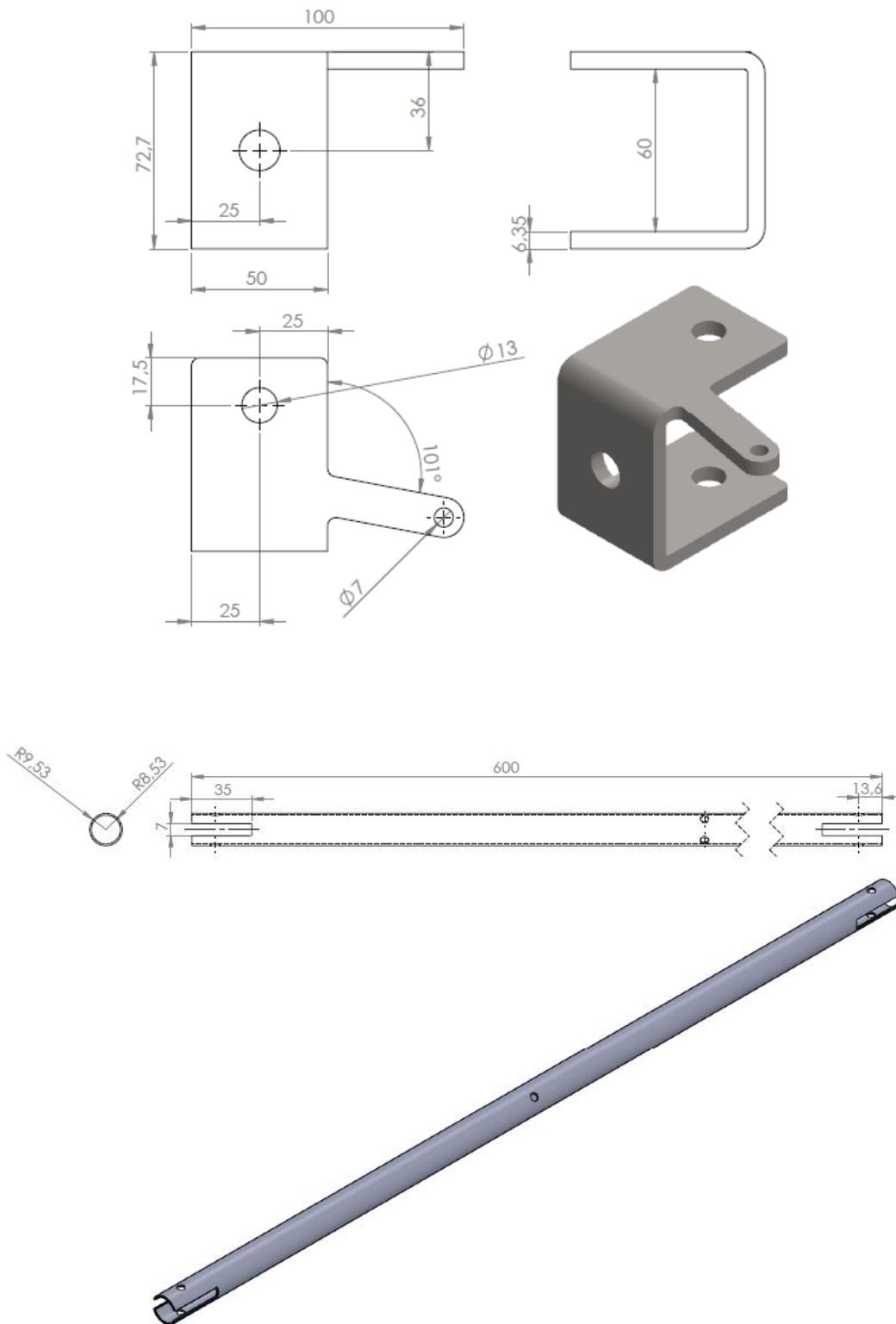


Figura 4.7 – Dimensões do conjunto da barra de direção



Conforme a Figura 4.8, podemos observar as dimensões dos componentes separados do sistema de direção, as barras que a compõe as peças de articulação e o volante.

Figura 4.8 – Detalhamento dos itens do sistema de direção



4.4 DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DO SISTEMA DE FREIOS

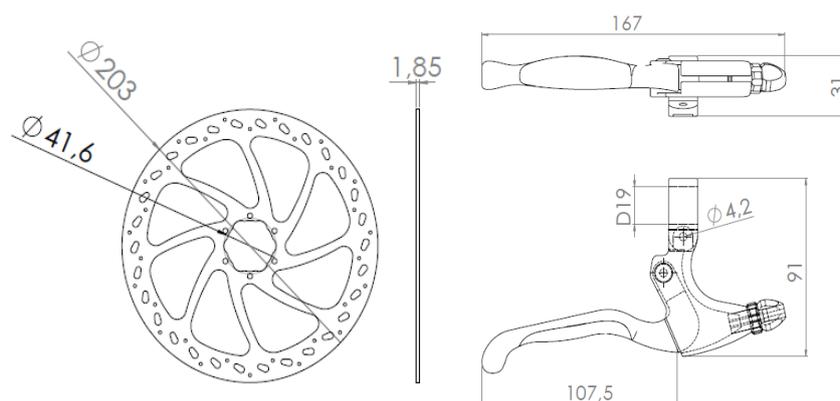
Para o dimensionamento do sistema de freios, considerando o cálculo da força máxima aplicada sem atrito, Considerando que a altura é igual a $W = 570\text{mm} = 0,57\text{m}$ e a distância entre o centro da roda $F = 1440\text{mm} = 1,44\text{m}$, podemos calcular essa força usando a equação (3.22). Assim, o ângulo de aplicação da força é de $21,6^\circ$ e a força aplicada, para uma tensão de $500,31\text{ N}$, é de $1263,6\text{ N}$.

O cálculo da força máxima aplicada considerando atrito é feito através da equação (3.23). O coeficiente de atrito utilizado é do material de borracha/cimento seco que corresponde a $0,8$, conforme a tabela 3.3. Logo, a força máxima com atrito é de 1580 N .

O cálculo da força necessária para parar o veículo em um determinado tempo, considerando a velocidade mínima que estipula o regulamento da MUEE (2013), que corresponde a $24\text{ Km/h} = 6,6\text{ m/s}$, e um tempo de 20 s estipulado para o projeto, sabendo que a massa total com o piloto é de 90kg , utilizando a equação (3.24) é de $29,7\text{ N}$.

O sistema de freios é a disco nas três rodas, sendo que o mesmo foi utilizado por ser bem mais leve que o freio a tambor, garantindo uma ótima frenagem. Na vistoria, o projeto desenvolvido obteve resultado satisfatório. Para a vistoria, o carro é colocado em uma rampa, como especificado anteriormente no item 3.3.6, sendo que utilizando apenas uma das mãos o mesmo teria que frear e, durante 30 segundos , o carro não poderia se deslocar. Os dois freios dianteiros acionados pelo manete esquerdo e o traseiro acionado pelo manete direito. Na Figura 4.9 estão expressas as dimensões do sistema de freio, que apresenta medidas do diâmetro e espessura dos discos e dimensões dos manetes.

Figura 4.9– Dimensões do sistema de freio do carro econômico.



Apresentadas as dimensões dos sistemas citados, é demonstrada na Figura 4.10 o disco, o manete e os sistemas identificados e adaptados no projeto desenvolvido, respectivamente.

Figura 4.10 – Ilustração do disco, manete, e sistemas adaptados no projeto

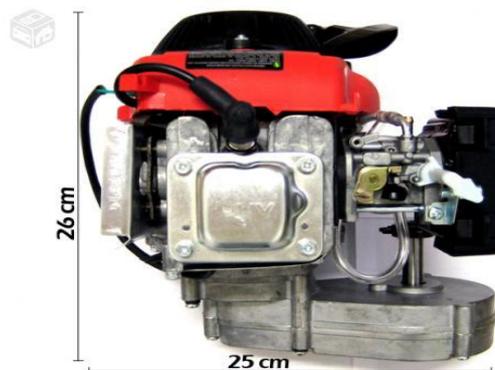


4.5 DETERMINAÇÃO DO MOTOR

O motor escolhido para o carro econômico é um motor de quatro tempos a gasolina, onde suas especificações estão expressas no Quadro 4. Esse motor foi uma escolha baseada em algumas particularidades especiais devido ao pouco espaço de instalação na estrutura do chassi. Ele apresentou melhor custo benefício dentre outros motores pesquisados. As premissas principais para a escolha deste modelo de motor é a durabilidade e resistência, eficiência e economia, leve e compacto além de partidas fáceis em qualquer temperatura. Conforme o regulamento da MUEE 2013, é obrigatório que o motor escolhido

seja de ciclo Otto, 4 tempos. A Figura 4.11 ilustra o motor utilizado e suas dimensões.

Figura 4.11 – Motor utilizado.



Conforme o Quadro 4.3, podemos analisar todas as especificações do motor utilizado no carro econômico.

Quadro 2.3 – Especificações do motor

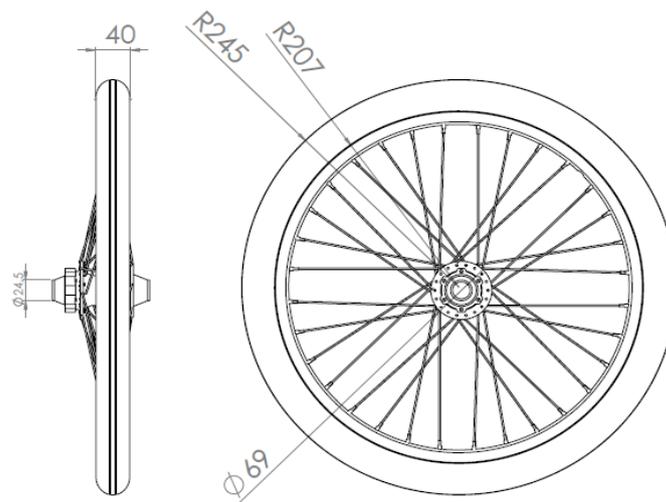
Ignição	Eletrônica (CDI/magneto)
Cilindrada	49cc
Potência Desenvolvida	2,5hp
Combustível	Gasolina
Embreagem	Automática (centrífuga)
Transmissão Força	Correia e pinhão auxiliar
Partida	Cordinha retrátil
Potência máxima kW/rpm	1,2/6800
Diâmetro x Curso	41.8 X 35.8
Max Torque	2.4Nm / 4500rpm
Rotação Máxima sem carga	8500rpm
Consumo de combustível	480g/kWh
Peso líquido	5,5Kg
Comp. x Largura x Altura	25 X 27 X 26 cm

4.6 DETERMINAÇÃO DAS RODAS DO VEÍCULO

O carro econômico é composto por três rodas iguais, duas dianteiras e uma traseira. As duas rodas dianteiras são as responsáveis para dar o

direcionamento ao veículo e a traseira garante a sustentabilidade ao carro, sendo também a roda motora do veículo. As rodas são compostas de um aro em alumínio, que contém 33 raios, pneu em borracha adequado ao diâmetro do aro e o cubo de roda com suporte para fixação de disco de freio. Na Figura 4.12 estão expressas as dimensões da roda.

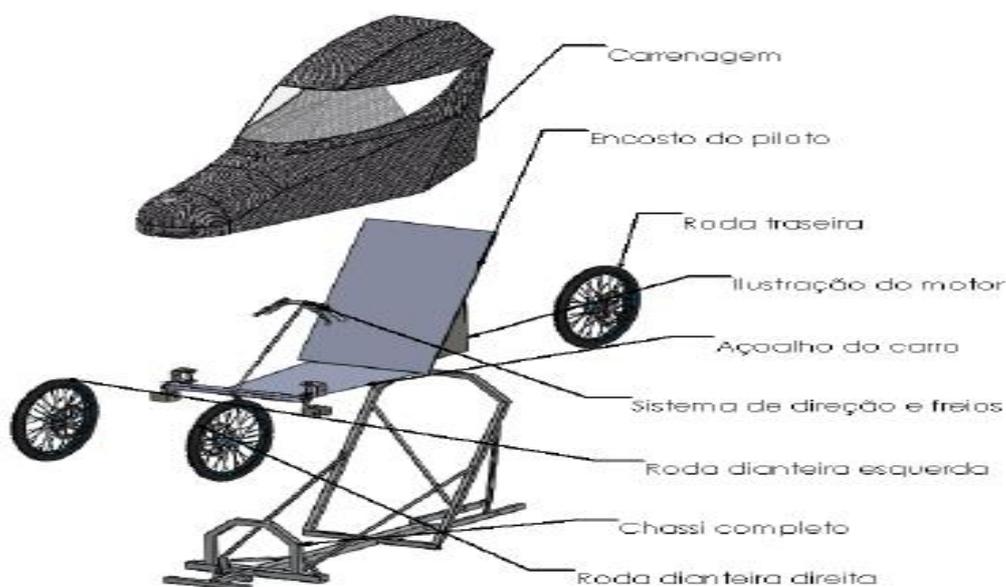
Figura 4.12 – Dimensões da roda



4.7 PROJETO FINAL

A ideia para o estabelecimento das melhorias do projeto foi orientada pela possibilidade de proporcionar melhor segurança ao piloto e também melhor eficiência ao veículo. Estes são os principais pontos considerando como critérios mais importantes no detalhamento final do carro econômico. Diante das ideias sugeridas e análise focada no atendimento do regulamento da MUEE 2013, o projeto final do protótipo é expresso em vista explodida na Figura 4.13.

Figura 4.13 – Projeto final do carro econômico.



4.8 ANÁLISE E DESEMPENHO

A primeira etapa da competição MUEE é a vistoria do projeto. Obtendo um aval positivo na vistoria, o projeto é autorizado a seguir para as próximas etapas. O projeto desenvolvido foi inspecionado por avaliadores do evento, onde foram analisadas todas as características do carro, incluindo a carcaça do veículo, onde verificaram se havia arestas de canto vivo, testes de freio em uma rampa de inclinação (o qual foi considerado um dos melhores projetos entre todos os demais participantes, pois em nenhum momento o carro se deslocou com o freio acionado). O teste de frenagem é feito em uma rampa de 20°, que possui 0,60 metros de altura e 3,90 metros de comprimento. O teste de segurança do piloto é feito com o içamento por um gancho preso no cinto de segurança, para verificar sua resistência, sendo que o cinto não rompeu. Foi testada a mobilidade do piloto ao sair do veículo, onde o piloto obrigatoriamente teria que sair em até 20 segundos de dentro do veículo, sendo que o mesmo atingiu uma marca inferior ao tempo estipulado, totalizando a marca de 11 segundos. Com a avaliação positiva nas vistorias, o carro pôde participar da competição. Na competição, o carro projetado fez uma média de 50,55 km/L de gasolina, mantendo uma velocidade média de 25 km/h. Devida a inexperiência por ser o primeiro ano de participação da equipe

FAHOR na MUEE, o projeto não foi totalmente satisfatório, pois ele apresentou uma grande restrição quanto ao tempo de execução e as ferramentas para executá-lo, mas o conhecimento que foi adquirido com essa competição torna isso um requisito básico para o aprimoramento futuro do projeto.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um protótipo, denominado “Carro Econômico”, seguindo os requisitos do regulamento MUEE (Maratona de Eficiência Energética) 2013, competição que se encontra na 10ª edição, que tem como objetivo percorrer um determinado percurso, com o mínimo de combustível possível, além de demonstrar a capacidade dos futuros engenheiros em projetar e aplicar seus conhecimentos obtidos durante o tempo de graduação.

Na metodologia apresentada, especifica bem cada requisito da MUEE 2013 a ser seguida, desde a parte de estrutura (chassi), até sua parte final, a carenagem. Na análise de resultados foi especificado o que se sugeriu na metodologia abordada, usando todos os parâmetros necessários para a execução do projeto. Concluiu-se com os testes na MUEE 2013 todos os objetivos estipulados no desenvolvimento desse trabalho.

O projeto foi satisfatório para todos, atribuiu o conhecimento adquirido em toda a formação acadêmica desde o desenvolvimento do mesmo até a sua execução final. Todos os métodos citados foram seguidos de forma exemplar para que não houvesse falhas nas etapas do desenvolvimento do projeto.

Com isso o presente trabalho agregou uma oportunidade de formar mais um grupo de estudos e de projetos, tendo já outros grupos como “Aero Design” e o “Baja”. Esse grupo de estudo pode ter a oportunidade de pesquisar novas tecnologias e novos produtos para aperfeiçoar o carro econômico, usando como foco principal a eficiência energética em motores a gasolina e etanol, também pode ser desenvolvido mais de um carro, pois o regulamento da MUEE estipula três modalidades, gasolina, etanol e elétrico.

Concluindo o projeto, foi possível avaliar o carro econômico, obtendo uma avaliação satisfatória em todas as inspeções propostas para a competição. Como resultado, o carro obteve um desempenho de 50,55 km/L utilizando gasolina como combustível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGNACKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica:** volume complementar. 7. ed. São Paulo: Blücher, 2009.

CALDAS, C. **Automóveis:** Excessos e suas consequências. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=36&id=430&tipo=0>>. Acesso em: 03 nov. 2013.

CONCEITO de energia. 2011. Disponível em: < <http://conceito.de/energia> >. Acesso em: 23 out. 2013.

FONTES de energia. Disponível em: <http://www.suapesquisa.com/cienciastecnologia/fontes_energia.htm>. Acesso em: 10 de jun. 2013.

GABRIELLI J.S. **Eficiência energética.** Petrobras encara o desafio de crescer e consumir mais energia de forma cada vez mais eficiente. Disponível em: <<http://www.hotsitespetrobras.com.br/petrobrasmagazine/edicoes/edicao55/pt/eficienciaenergetica/eficienciaenergetica.html>>. Acesso em: 23 mar. 2013.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M. Fundamentos do projeto de componentes de máquinas. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KIT MOTOR para bicicleta. Bicycletas motorizadas. Disponível em: <http://www.bicimoto.com.br/ecommerce_site/produto_872_4847_Kit-Motor-49cc-4-tempos-para-bicicletas-4G-T-Belt-drive>. Acesso em: 3 mai. 2013.

MARATONA universitária de eficiência energética. Regulamento, 2013. Disponível em: <<http://www.maratonadaeficiencia.com.br> >. Acesso em: 13 mar. 2013.

MELCONIAN, Sarkis. Elementos de máquinas. 10. ed. São Paulo: Érica, 2012.

MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica técnica e resistência dos materiais.** 10. ed. São Paulo: Érica, 1999.

MENEGHESSO A. A.; **O Metal Alumínio, suas características e as ações corrosivas que estabelecem o conceito da “Confusão”**, 2006. Disponível em: <http://italtecnico.com.br/artigos_tecnicos/Edi%C3%A7%C3%A3o_09.pdf>. Acesso em: 19 de out. 2013.

POGORELSKY G.J. **Apostila sistemas de freios**, Freios para bicicleta (2004). Disponível em: <<http://www.sulmail.com/pogorelsky/trabfreio.pdf>> - Acesso em 03 dez. 2013.

SAMPAIO, R. Brasileiras no MIT estudam novo combustível criado a partir de CO₂. **Notícias G1.** São Paulo, 22 set. 2009. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2012/09/brasileiras-no-mit-estudam-novo-combustivel-criado-partir-de-co2.html>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

SILVA, R. E.; HASHIMOTO, R. R. de. **Álcool e gasolina - Combustíveis do Brasil.** 3ª. ed. São Paulo: Scipione, 1992.

Tabela coeficiente de atrito cinético e estático: Disponível em: <http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Atrito_histria_cincia/Atrito_hist_cincia.html>. Acesso em: 03 dez. 2013.

TAVARES, J.M.R.S.; FONSECA, J.O. **Introdução ao solidworks (x)**: Análise de tensões de peças – SimulationXpress, 2012. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~tavares/ensino/CFAC/Downloads/Apontamentos/SolidWorks%20X.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2013.

VAN VLACK, Lawrence Hall. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.

VEÍCULOS com eficiência energética. Projeto energia. Disponível em: <<http://www.planetseed.com/pt-br/relatedarticle/veiculos-com-eficiencia-energetica>>. Acesso 25 out. 2013.

VERÍSSIMO, R. **Montadora terá de fabricar carro mais econômico para abater imposto**. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,montadora-tera-de-fabricar-carro-mais-economico-para-abater-imposto-,933098,0.htm>> Acesso em: 16 nov. 2013.

WAGNER, M. **Reforço do aço a laser reduz peso de carros em 20%**. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=reforco-aco-laser-reduz-peso-carros-20&id=010170130903>>. Acesso em: 6 nov. 2013.

WOLF G. L. **Fibra de Carbono**. Revista Plástico Sul. Out. 2008. Disponível em: <<http://www.maua.br/arquivos/artigo/h/a6e27aa5ba059321171a9f2f51de4f0d%E2%80%8E>>. Acesso em: 14 mai. 2013.

ZANATTA, R. **Materiais compósitos na aviação**. 2012. Disponível em: <<http://www.aviacao.org/especiais/materiais-compositos/4/>>. Acesso em: 20 out. 2013.