

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Caio Manograsso Piotto**

**PROJETO DE UM VEÍCULO BAJA SAE ELÉTRICO:  
CRIAÇÃO DE UM VEÍCULO OFF ROAD COM  
TRANSMISSÃO 100% ELÉTRICA**

**Taubaté – SP**  
**2023**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi  
Universidade de Taubaté - Unitau**

P662p    Piotto, Caio Manograsso  
Projeto de um veículo Baja SAE elétrico / Caio Manograsso. -- 2023.  
42 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto, Departamento de Engenharia Mecânica.  
Coorientação: Prof. Leandro Maia Nogueira, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Veículos elétricos. 2. Baja SAE. 3. Transmissão. 4. Competição. 5. Powertrain. I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. Graduação em Engenharia de Mecânica. II. Título.

CDD – 658.5

**Caio Manograsso Piotto**

**PROJETO DE UM VEÍCULO BAJA SAE  
ELÉTRICO:  
CRIAÇÃO DE UM VEÍCULO OFF ROAD COM  
TRANSMISSÃO 100% ELÉTRICA**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador (a): Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto

Coorientador (a): Prof. Leandro Maia Nogueira

**Taubaté – SP  
2023**

Caio Manograsso Piotto

**PROJETO DE UM VEÍCULO BAJA SAE ELÉTRICO:  
CRIAÇÃO DE UM VEÍCULO OFF ROAD COM TRANSMISSÃO 100%  
ELÉTRICA**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

**DATA:** \_\_\_\_\_

**RESULTADO:** \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Fernando Silva de Araújo Porto  
TAUBATÉ

UNIVERSIDADE DE

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Carlos Evany Pinto  
TAUBATÉ

UNIVERSIDADE DE

Assinatura: \_\_\_\_\_

17/11/2023

Dedico este trabalho aos meus pais José Alexandre e Alessandra, aos meus Tios Andrea e Nilton, ao meu irmão Bruno, aos meus primos Lucas e João Paulo e à minha namorada Sabrina.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço à minha família, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e felizes da minha vida, por dar suporte aos meus estudos e por sempre acreditarem no meu potencial.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos meus pais José Alexandre e Alessandra, que sempre incentivaram meus estudos e nunca me deixaram desistir apesar dos desafios que tive que enfrentar.

Ao meu amigo Daniel dos Santos Tranin, sempre me enriquecendo com debates sobre o tema e sempre incentivando a criação deste trabalho.

Ao Professor Carlos Evany Pinto por aceitarem compor a banca examinadora.

Às funcionárias da Secretaria pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

“Saber pensar lhe dá poderes muito  
além daqueles que sabem apenas o  
que pensar”.

Neil deGrasse Tyson

## RESUMO

Os veículos elétricos estão novamente despertando o interesse dos fabricantes de automóveis em função do papel que eles podem desempenhar em atender a demanda de mobilidade e de impacto praticamente zero sobre a qualidade do ar em áreas urbanas. Com a evolução da mobilidade e o surgimento de grandes competições (Fórmula E, Extreme E, Fórmula SAE Elétrico) é inevitável que mais competições dessa categoria venham a ser inovadoras, como Stock Car, Karts, Fórmula Truck e até mesmo o campeonato Nacional Baja SAE. O presente projeto tem como objetivo a idealização da construção de um veículo *off road* universitário chamado Baja SAE com uma transmissão 100% elétrica, a fim de conseguir participar de futuras competições e compreender o funcionamento dessa tecnologia que vem ganhando bastante espaço no meio automotivo e industrial. A metodologia utilizada nesse projeto foi seguir as demandas do regulamento que a organização dos campeonatos disponibiliza para as equipes, depois da escolha e do dimensionamento de todos os componentes que vão integrar a powertrain do protótipo vamos realizar todos os cálculos necessários para conseguir um melhor rendimento da transmissão e garantir a segurança do piloto nas competições. Depois de finalizar os cálculos e a construção do projeto, podemos concluir que a criação de veículos baja SAE com transmissão elétrica pode ser bem produtiva para os estudantes universitários pois abrange uma variedade de conceitos que aprendemos durante o curso de engenharia. Além disso, a possibilidade de surgirem futuros campeonatos que são específicos dessa categoria *off road* no meio universitário é grande, visto que já existe uma categoria de carros monopostos elétricos no meio universitário.

**Palavras-chave:** Veículos elétricos. Baja SAE. Transmissão. Competição. Powertrain

## **ABSTRACT**

Electric vehicles are once again arousing the interest of car manufactures because of the role they can play in meeting the demand of mobility and virtually zero impact on air quality in urban areas. With the evolution of mobility and the emergence of major competitions (Formula E, Extreme E, Formula SAE electric) it's inevitable that more competitions in this category will be innovative, such as Stock car, Karts, Formula Truck and even the National Baja SAE championship. This project aims to idealize the construction of an off-road university vehicle called Baja SAE with a 100% electric transmission, to be able to participate in future competitions and understand the operation of this technology that has been gaining a lot of space in the automotive and industrial environment. The methodology used in this project was to follow the demands of the regulation that the organization of the championship makes available to the teams, after choosing and sizing all the components that will integrate the prototype powertrain, we will carry out all the necessary calculations to achieve better performance transmission and ensure the safety of the pilot in competitions. After finalizing the calculations and construction of the project, we can conclude that creating low SAE vehicles with electrical transmission can be very productive for university students as it covers a variety of concepts that we learned during the engineering course. In the possibility of emerging future championships that are specific to this off-road category in the university environment is great since there is already a category of electric single-seater cars in the university environment.

**KEYWORDS:** Electric vehicle. Baja SAE. Transmission.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Flocken Elektrowagen 1888 .....	1
Figura 2 –1912 Cadillac model 30 .....	2
Figura 3 – 1930 Detroit Electric Model 97 .....	2
Figura 4 – Mosfet Hitachi .....	3
Figura 5 – Gurgel Itaipu E-400 .....	4
Figura 6 – Baterias de Lítio do Tesla Roadster 2008 .....	4
Figura 7 – FIA Formula E .....	6
Figura 8 – SUV elétrico Spark ODYSSEY 21 .....	7
Figura 9 – Fórmula SAE elétrico da equipe EESC-USP .....	8
Figura 10 – Motor elétrico de indução assíncrono .....	10
Figura 11 – Conversor DC/DC .....	10
Figura 12 – Pack de baterias Tesla roadster .....	11
Figura 13 – Controlador .....	11
Figura 14 – Veiculo elétrico sendo recarregado .....	12
Figura 15 – BMS .....	12
Figura 16 – Equipe Bajuta em Londrina .....	15
Figura 17 – Protótipo Eliane Coiote 1 .....	15
Figura 18 – Equipe Bajuta UNITAU na 26ª competição baja SAE Brasil .....	16
Figura 19 – Baja Elétrico .....	19
Figura 20 – Chassi Baja Elétrico .....	19
Figura 21 – Transmissão elétrica.....	20
Figura 22 –Pack de baterias.....	21
Figura 23 – Células fotovoltaicas.....	22
Figura 24 – Baja elétrico .....	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela1 – tabela de componentes do projeto.....	18
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VE's	Veículos Elétricos
FIA	Federação Internacional de Automobilismo
SAE	Sociedade dos Engenheiros Automotivos
F1	Formula 1
SUVs	Sport Utility Vehicle
EUA	Estados Unidos da América
CARB	California Air Resources Board
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
Ct	Capacidade Total de armazenamento
N	Número de células de energia
I	Amperagem das células
V	Voltagem individual de cada célula
W	Potência necessária para tirar o baja da inércia
P	Peso do baja
A	Autonomia

## LISTA DE SÍMBOLOS

Vm	Velocidade Media
Km	Quilômetros
H	Horas
A	Aceleração
Ah	Amperes hora
Lb	Libras
KWh	Quilowatt hora
Wh/mil	Watt hora por milhas
Wh/km	Watt hora por quilômetros

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 - HISTÓRIA DOS CARROS ELÉTRICOS</b> .....	14
<b>1.2 - Contexto Atual</b> .....	19
1.2.1 - Popularidade .....	19
1.2.2 - Infraestrutura .....	20
1.2.3 - Competições .....	21
<b>1.3 - VANTAGENS DA MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA</b> .....	24
<b>1.4 - COMPONENTES DA TRANSMISSÃO</b> .....	25
1.4.1 - Motor trifásico .....	25
1.4.2 - Conversor .....	26
1.4.3 - Banco de Baterias .....	26
1.4.4 - Controlador .....	27
1.4.5 - Carregador de baterias .....	27
1.4.6 - Fusível .....	27
1.4.7 - Gerenciador de banco de baterias (bms) .....	28
<b>2 - PROJETO BAJA SAE ELÉTRICO</b> .....	28
<b>2.1 - SAE (organização dos engenheiros automotivos)</b> .....	28
2.1.1 - História .....	28
2.1.2 - Programas estudantis .....	29
<b>2.2 - Equipe Bajuta</b> .....	29
<b>2.3 - Idealização do projeto</b> .....	31
<b>3 - METODOLOGIA</b> .....	32
<b>4 - DESENVOLVIMENTO</b> .....	33
<b>5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	37
<b>6 - CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>7 - REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1.INTRODUÇÃO

### 1.1 HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

Os carros elétricos ou veículos elétricos já existem há mais de um século e, desde o início, já eram considerados bem populares. Em virtude de serem fruto de uma gama de avanços tecnológicos (desde a criação da bateria até o desenvolvimento do motor elétrico), que surgiram por volta de 1800, se mostra dificultoso creditar a invenção dos veículos elétricos para uma pessoa em específico ou para algum país.

Na alvorada do século XIX, inovadores na Hungria, Holanda e Estados Unidos iniciaram projetos visando o desenvolvimento do conceito de um veículo movido à bateria, momento em que alguns dos primeiros protótipos de veículos elétricos de pequena escala surgiram. A primeira carruagem elétrica foi contemporânea a estes primeiros protótipos, graças a Robert Anderson, um inventor escocês que desenvolveu a primeira carruagem elétrica em Bruto (HOYER, 2008).



**Figura 1 - Flocken Elektrowagen 1888**

Os Estados Unidos da América também contribuíram para o surgimento dos carros elétricos. O primeiro carro de sucesso estreou por volta do ano de 1890, fruto do árduo trabalho de William Morrison, um químico originário da

cidade de Des Moines, no estado de Iowa (MATULKA, 2014). O veículo desenvolvido por William abrigava até seis passageiros e conseguia atingir a velocidade de 14 km/h. Apesar da pequena velocidade atingida por seu veículo, sua contribuição se mostrou de suma importância para o desenvolvimento dos carros elétricos, já que seu trabalho ajudou a despertar e fazer crescer o interesse do mercado por veículos elétricos.

Nos anos que seguiram essas experiências e criações de vanguarda, a popularidade dos veículos elétricos aumentou exponencialmente, sendo que modelos de diferentes montadoras passaram a circular nos Estados Unidos, sendo que a cidade de Nova York, inclusive, contava com uma frota de mais de 60 táxis elétricos. O auge dos carros elétricos se deu em 1900, no amanhecer do Século XX, ano em que os veículos elétricos compunham aproximadamente um terço da frota de veículos que circulavam nas estradas norte-americanas, tendência esta que se mostrou exponencial na década que seguiu (BARAN, 2018).



**Figura 2 – 1912 Cadillac Model 30**



**Figura 3 – 1930 Detroit Electric Model 97**

O declínio dos carros elétricos se tornou inevitável com o advento das novas tecnologias relacionadas aos veículos com motor de combustão interna, aliadas ao conseqüente barateamento, em grande escala, dos combustíveis provenientes do petróleo, como diesel e gasolina, elementos estes que tornaram este tipo de veículo mais acessível ao público no geral, além do rápido abastecimento destes carros, fator este também importante para sua popularização em uma sociedade na qual “tempo é dinheiro”.

Inobstante, este hiato de décadas em que os veículos elétricos ficaram à margem do mercado, seu ressurgimento se deu no final do século XX, com a criação do transistor de potência MOSFET (Hitachi, 1969) e o microcontrolador (microprocessador de chip único, Intel, 1971), que se mostraram verdadeiros novos pontos de partida para os avanços substanciais de inovações de automóveis elétricos.

**Figura 4 – Mosfet Hitachi**

Os conversores de energia MOSFET propiciaram a operação em frequências de comutação bem mais elevadas do que anteriormente, o que tornou a dirigibilidade dos veículos mais ágil, além de permitir a redução significativa da perda de energia e, outro fator preponderante, a redução dos preços destes veículos. Os microcontroladores de chip único, por sua vez, eram

capazes de fomentar o gerenciamento da totalidade dos aspectos do controle da unidade e da respectiva bateria do veículo.

O primeiro veículo elétrico produzido em série na América Latina<sup>1</sup>, teve como berço o Brasil, sendo este o modelo Itaipu E-400, desenvolvido pela Gurgel em 1981, após um desafio lançado pela Eletrobras com fins de renovação de sua frota. Para tanto, os interessados deveriam criar um veículo capaz de transportar 250 kg, ter autonomia mínima de 65 km e velocidade máxima entre 50 e 60 km/h.



**Figura 5 – Gurgel Itaipu E-400**

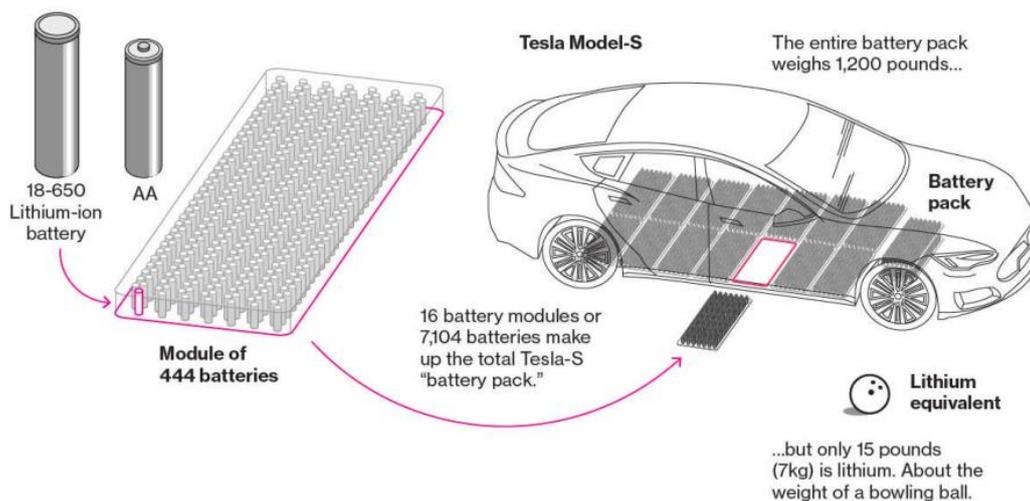
No final do século XX, mais especificamente no início da década de 1990, momento em que as discussões sobre mudanças climáticas estavam em alta, a California Air Resources Board (CARB) iniciou uma campanha por veículos com uma maior eficiência no que tange a combustível e baixas emissões de carbono, cujo escopo final era o de zerar essas emissões.

A reintrodução do veículo elétrico ao mercado automobilístico, de forma competitiva e eficiente, se deu com a introdução, em sua mecânica, das baterias de lítio-íon, de maneira revolucionária quanto à aplicação deste novo evento tecnológico sem precedentes.

---

<sup>1</sup> <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/gurgel-itaipu-e400-a-historia-do-primeiro-carro-eletrico-brasileiro/>. Acessado em 22 de novembro de 2021.

A introdução desse novo tipo de bateria permitiu que os veículos elétricos fossem capazes de ultrapassar 300 km de alcance, como o modelo Roadster da Tesla, lançado em 2008.



**Figura 6 – Baterias de Lítio do Tesla Roadster 2008**

## 1.2 - CONCEITOS ATUAIS

### 1.2.1 - POPULARIDADE

Inobstante a sua presença no mercado há um bom tempo, a popularidade dos veículos elétricos ainda não chegou ao patamar dos veículos que funcionam a etanol, gasolina ou diesel. Para explicar tal fenômeno, podemos listar alguns empecilhos que ainda existem, tais como o custo elevado se comparado aos carros de combustão, e a sua autonomia, que ainda permanece significativamente inferior à dos carros à combustão.

Mesmo encontrando essas dificuldades competitivas, os veículos elétricos se mostram muito populares nos Estados Unidos, Japão e China, além de muitos países na Europa, que assumiu, desde 2015, a liderança do segmento. O Brasil segue a tendência da maioria dos países: aqui, a tecnologia dos veículos elétricos ainda se mostra tímida, e cresce em face a obstáculos.

Mas nem todas as notícias concernentes a carros elétricos são ruins. A tendência é que o segmento ganhe cada vez mais força em breve, em virtude da escassez do petróleo e dos demais combustíveis fósseis, bem como em decorrência do avanço dos estudos sobre a autonomia das baterias utilizadas nestes veículos, aliada a um barateamento do custo de produção destes, o que os poderá torná-los de fato competitivos e uma verdadeira alternativa viável aos carros por combustão.

### **1.2.2 INFRAESTRUTURA**

A eletrificação do transporte (ou mobilidade elétrica) se baseia na utilização de veículos elétricos em toda uma rede de carregadores e demais componentes da infraestrutura necessária ao fomento da mobilidade sustentável. No Brasil, já podemos constatar a existência de estradas que possuem corredores chamados “corredores elétricos”, que apresentam uma boa infraestrutura de recarga necessária para que o usuário possa percorrer grandes distâncias utilizando um carro elétrico.

Também se pode verificar uma tendência em algumas cidades de possuir carregadores para carros elétricos espalhados em pontos estratégicos. A adoção dessas medidas nas cidades propicia ao usuário não depender apenas da infraestrutura externa para que possa recarregar seu carro, mas também permite que este possa instalar um equipamento de recarga na sua própria residência, dotando-o, assim, de maior autonomia e de uma maior gama de opções disponíveis de recarga de seu veículo.

Já existem diversos modelos de carregadores de carros elétricos que podem ser posicionados em instalações distintas de acordo com suas especificações. De fato, este é um setor automobilístico importante e promissor, sendo que a infraestrutura - de recarga pública/privada - ainda se encontra insípida em fase de desenvolvimento, havendo ainda um longo caminho para seu maior crescimento.

### 1.2.3 COMPETIÇÕES AUTOMOTIVAS

Acompanhando o entusiasmo das inovações no segmento dos veículos elétricos, a Federação Internacional de Automobilismo (FIA) anunciou, por meio de verdadeiro consórcio de investidores, no ano de 2014, a criação da “Fórmula E”, que será uma competição exclusiva para esse tipo de veículo.



Figura 7 - FIA Formula E GEN 2

Esta nova modalidade competitiva não diverge muito da tão famosa Fórmula 1, também se mostrando verdadeiro celeiro de utilização de tecnologias para carros comuns, mostrando que a cada temporada que passa os carros vem chamando a atenção de novos investidores e entusiastas do cenário esportivo automotivo.

A categoria, a cada temporada, vem trazendo atualizações e novas tecnologias nos novos veículos que a disputam, sendo utilizados, atualmente, os modelos GEN 2. Há rumores, entretanto, que um novo protótipo – que será denominado GEN 3 - se encontra em fase de testes, prometendo trazer uma maior segurança aos pilotos e um melhor desempenho dos carros na competição.

As competições envolvendo veículos à eletricidade não se limitam à Formula E. Existe uma nova categoria de corrida que vem ganhando cada vez mais espaço: a Extreme E. Essa modalidade envolve uma série de corridas off-road internacionais com SUVs elétricos, que competem em locais inóspitos espalhados por todo o planeta, sendo que a escolha desses locais leva em conta a conscientização da população acerca das mudanças climáticas, além de seu aspecto social: a Extreme E mantém um "Programa de Legado", cujo intuito é justamente o de fornecer suporte social e ambiental para a população habitante dos locais nos quais são realizadas as corridas.



**Figura 8 - SUV elétrico Spark ODYSSEY 21**

A modalidade off-road de corrida vem ganhando relevância no cenário mundial, principalmente com o apoio de diversas celebridades do mundo da corrida automobilística, como o piloto heptacampeão da Formula 1 Lewis Hamilton, o campeão mundial de formula 1 em 2016 Nico Rosberg, o bicampeão mundial de Rally Carlos Sainz e Cristina Gutiérrez, a segunda mulher a vencer uma etapa na história do Rally Dakar.

Um dos SUVs elétricos utilizados nas competições, o Odyssey 21, tem 400 Kw de potência (o que equivale a 550 cavalos), além de ter suas baterias fabricadas pela Williams Advanced Engineering, pesando 1.650 Kg, medindo 2,30 m de largura, 4,40 m de comprimento e atingindo uma velocidade máxima estimada de 200 km/h. A aceleração de 0 a 100km/h se dá em impressionantes 4,5 segundos, proporcionada principalmente por causa do abissal torque gerado pelo motor elétrico.

Convergingo na mesma direção das competições mencionadas acima, em âmbito universitário temos O Fórmula SAE Elétrico, um projeto que dimensiona os alunos em total consonância com a utilização da mesma tecnologia empregada na atualidade nos carros elétricos no âmbito da indústria automobilística. O projeto traz diversos desafios aos universitários, tais como o desenvolvimento de um sistema de propulsão (motor elétrico, inversor de frequência e baterias) e a criação e aplicação de diversas soluções disruptivas para outros subsistemas dos veículos, envolvendo seu sistema de frenagem, suspensão, direção, chassis e transmissão.



**Figura 9 – Fórmula SAE elétrico da equipe EESC-USP**

Além dos desafios de desenvolvimento tecnológico relacionados ao projeto, o Fórmula SAE Elétrico também toma parte em competições como o Fórmula SAE Brasil, nas quais os participantes se veem em provas estáticas e dinâmicas, submetidos a avaliações relacionadas à performance de cada projeto na pista. Há também apresentações técnicas das equipes participantes, das quais fazem parte o projeto, os custos envolvidos neste e uma apresentação de marketing.

Meses antes do evento, que tem duração de três dias, os estudantes participantes encaminham para o comitê organizador da competição seus relatórios de custos, relatório de estrutura, atenuador de impacto e o próprio projeto em si, sendo que tais documentos, por sua vez, são submetidos à avaliação de engenheiros especialistas no assunto, já valendo como a primeira etapa de avaliação dos protótipos. Durante as provas estáticas, as equipes precisam demonstrar nos mínimos detalhes se o veículo trazido no projeto

equivale com o apresentado na data do evento. Já as provas dinâmicas, por sua vez, tomam parte no segundo dia do evento, sendo certo que cada uma destas etapas da competição é pontuada de maneira diversa, vencendo a competição o melhor conjunto de projeto e carro.

### **1.3 VANTAGENS DA MOTORIZAÇÃO ELÉTRICA**

O motor elétrico não é a maior aposta para o futuro do mercado automobilístico sem uma gama de razões para tanto, ora, são diversas as vantagens que este oferece se comparado ao motor “tradicional”.

Em pleno século XXI, não emitir poluentes talvez seja uma das maiores preocupações da sociedade e, portanto, uma das maiores contribuições proporcionadas pelo veículo elétrico ao planeta. Se comparado ao motor à combustão, a redução de CO<sub>2</sub> é de aproximadamente 30%, ficando esta produção de gás carbônico concernente aos veículos elétricos somente durante sua fabricação, já que estes não expelem fumaça durante sua circulação. Não é forçoso dizer, portanto, que o único dano atmosférico gerado pelos carros elétricos é o atrito dos pneus com o asfalto.

Quanto à sua potência, os motores elétricos apresentam um potencial muito maior de torque, já que, via de regra, os motores à combustão possuem uma faixa de rotação na qual se dá o pico de torque, enquanto, em um motor elétrico, esta força está disponível o tempo todo, não apresenta picos, se mostra em constância.

Além disso, os motores elétricos exigem menos manutenção por parte de seus usuários. A razão para tanto é bastante simples: seus componentes e peças são diferentes daqueles que compõem o motor à combustão, como correias e velas de ignição, a título exemplificativo. Esta maior simplicidade de componentes e peças também acarreta a não necessidade de troca de óleo – uma necessidade que está sempre no radar dos donos de veículos à combustão, conforme a quilometragem do veículo.

Uma das consequências da “simplicidade” do motor elétrico comparado ao motor à combustão é que o desgaste das peças se apresenta infinitamente menor, bem como a duração de sua manutenção, que via de regra demanda de 60 a 90 minutos, resumindo-se, na maior parte dos casos, à limpeza e ao ajuste dos freios, balanceamento, rotação e alinhamento das rodas, revisão de faróis, suspensão e direção, lubrificação de fechaduras, dobradiças e tranca do portamalas, revisão dos níveis de fluidos e controle das baterias de íons de lítio, o que, inevitavelmente, acarreta diretamente na redução de seus custos, que se mostram de 20% a 30% mais baixos que os de um carro convencional.

#### **1.4 COMPONENTES DA TRANSMISSÃO**

Com uma mecânica relativamente mais simples do que a de um veículo à combustão, os carros elétricos são formados por alguns componentes simples, que têm bastante importância no funcionamento da transmissão:

**1.4.1 MOTOR TRIFÁSICO:** é a máquina responsável por transformar energia elétrica em energia mecânica, cujo princípio de funcionamento para o motor de indução assíncrono se baseia na criação de um campo magnético rotativo ou girante. A tensão aplicada alternadamente no estator e nas bobinas é o que propicia o surgimento deste campo girante/rotativo, que, a partir desta aplicação de força, consegue produzir um campo eletromagnético rotativo, fazendo com que o eixo do motor elétrico se movimente.



**Figura 10 - Motor elétrico de indução assíncrono**

**1.4.2 CONVERSOR DC/DC:** Esse conversor é a peça responsável por transformar a carga do banco de baterias em 12 V, sendo sua escolha baseada em uma determinada tensão. Se o banco de baterias for de 300 V, o conversor transformará essa tensão de 12 V e alimentará o sistema do carro ou da própria bateria (12 V).



**Figura 11 – Conversor DC/DC**

**1.4.3 BANCO DE BATERIAS:** o banco de baterias é usado como fonte de energia de abastecimento do motor trifásico, sendo, por sua vez, recarregável. Devido à necessidade de veículos elétricos precisarem de um uso de energia por grandes períodos de tempo, o armazenamento desta por meio do banco de baterias se mostra imprescindível para seu uso. A maior característica as baterias para veículos elétricos são a sua relação peso/potência, que traduz qual será a densidade energética utilizada no veículo. A qualidade de um banco de baterias, portanto, é evidenciada por dois fatores: sua leveza e capacidade alta de armazenamento de energia. Quanto maior a quantidade de energia retida e, inversamente, quanto mais leve for bateria, maior será sua densidade. Se o tamanho do banco de baterias for diminuto, além de mais leve, tais fatores serão úteis para reduzir o peso do veículo, além de melhorar seu desempenho.



**Figura 12 -Pack de baterias Tesla roadster**

**1.4.4 CONTROLADOR:** O controlador, popularmente conhecido como inverso, é uma peça que fica acoplada ao motor, e é responsável por levar a energia das baterias até este último. Sua ativação se dá diretamente pelo pedal do acelerador, que é ligado, por sua vez, ao potenciômetro (ou resistor variável), que transmite o sinal de quanta potência deve ser fornecida pelo controlado. A energia fornecida pelo controlador é variável: desde zero (quando o veículo está inerte) até o nível de potência máxima do veículo.



**Figura 13 - Controlador**

**1.4.5 CARREGADOR DE BATERIAS:** O veículo elétrico é ligado diretamente à rede de alimentação de energia via carregador externo em corrente contínua, responsável por fornecer energia diretamente ao veículo.



**Figura 14 - Veículo elétrico sendo recarregado**

**1.4.6 FUSÍVEL:** Os fusíveis são as peças que protegem da sobrecarga os circuitos elétricos do veículo, sendo verdadeiros dispositivos de segurança que ajudam a funcionar tanto bateria quanto outros componentes eletrônicos.

**1.4.7- GERENCIADOR DE BANCO DE BATERIAS (BMS):** O Sistema de Gerenciamento de Bateria é uma peça de *hardware* com sistema eletrônico a bordo, sendo o gerenciador de uma bateria recarregável (célula ou pacote) e o elo entre a bateria e seu usuário. O BMS possui um sistema de segurança que desconecta a bateria do restante do veículo em caso de curto-circuito, falhas elétricas e quando os valores lidos da bateria estiverem fora do esperado.



Figura 15 - BMS

## 2 - PROJETO BAJA SAE ELÉTRICO

### 2.1 - ORGANIZAÇÃO DOS ENGENHEIROS AUTOMOTIVOS (SAE)

#### 2.1.1 - HISTÓRIA

A SAE Internacional é, sem sombra de dúvida, uma das principais criadoras de normas e padrões relativos ao setor automotivo e aeroespacial em todo o globo, agrupando 138 mil engenheiros técnicos altamente especializados nos mais variados setores do mercado automotivo. A organização fornece aprendizado duradouro e desenvolvimento de padrões consensuais voluntários.

Na década de 1990, consciente da necessidade de expansão do conhecimento para além das fronteiras, na onda da globalização, a SAE Internacional anunciou a formação de sua primeira afiliada, a SAE BRASIL, que já foi inaugurada com mais de 1.500 membros e realizando um evento anual próprio, qual seja o Congresso Internacional SAE BRASIL. Foram ainda, abertas quatro seções geográficas no subcontinente indiano, na China, Rússia, Romênia e Egito, entre tantas outras filiais.

As atividades desenvolvidas pela SAE BRASIL se mostram de extrema relevância para difundir conhecimento e atualização das inovações e tendências da indústria da mobilidade, tanto brasileira quanto internacional. A entidade promove, para possibilitar tamanha difusão de conhecimento e atualidades da indústria, todos os anos, simpósios, cursos e eventos sobre os mais variados temas correlatos à mobilidade.

### **2.1.2 - PROGRAMAS ESTUDANTIS**

A SAE BRASIL também promove diversas competições em diferentes categorias para o público estudantil. Tais eventos propiciam ao aluno a aplicação prática de todo o conteúdo aprendido nas salas de aula, de modo que os estudantes possam vivenciar realmente todas as etapas de um processo de desenvolvimento, que os instigam a buscar soluções criativas por meio de trabalho em equipe.

Todos os anos, por volta de 2.800 estudantes dos principais cursos de engenharia e também alunos do ensino médio, participam desses programas, fazendo com que este “trabalho de campo” integre a vivência acadêmica e prática dos futuros engenheiros além de fomentar uma proximidade destes com o mercado de trabalho ao qual no futuro ingressarão. Dentre tais programas estudantis, pode-se mencionar o Aero Design, Formula SAE, Formula SAE elétrico, Baja SAE, Formula Drone, desafio H2 e o Demoiselle

### **2.2 - EQUIPE BAJUTA SAE**

A equipe Bajuta UNITAU foi fundada em 2016 com o objetivo de desenvolver o projeto acadêmico da Baja SAE e competir na Baja SAE Brasil. Durante os anos de 2016 e 2018, a equipe viveu momentos difíceis, com poucos membros, todavia a equipe conseguiu concluir o projeto do primeiro protótipo para poder iniciar sua caminhada nas competições

No ano de 2019 a equipe Bajuta UNITAU começou a engrenar para conseguir participar de competições, pois no processo seletivo entraram muitos membros dedicados que conseguiram restaurar um antigo protótipo desenvolvido em 2014, a ponto de deixá-lo pronto para competições não oficiais

Baja SAE Brasil, porém com o uso do mesmo regulamento estabelecido pela SAE. Em setembro de 2019, a equipe se inscreveu e participou da 3ª Edição do Campeonato Interbaja, em Londrina – PR, e nessa competição a equipe conquistou a quarta colocação dentre oito equipes, o que foi uma surpresa incrível para os membros, por ser a primeira competição e conseguir uma boa colocação.



**Figura 16 - Equipe Bajuta em Londrina**

Após a competição, a equipe começou a se preparar para a sua primeira competição oficial, o 26º campeonato Nacional Baja SAE Brasil. Teve pouco tempo para trazer o projeto desenvolvido no software SolidWorks, com chassi totalmente montado, todas partes já anexadas ao chassi e pronto para encarar os desafios da competição.

A equipe participou do campeonato Nacional, com muita gana dos membros e pouco apoio de patrocinadores, conquistando a 68ª colocação. Mesmo com a baixa posição, o desânimo foi evitado pois foi visto que todos os membros deram o máximo com o que se possuía.



Figura 18 – Equipe Bajuta UNITAU na 26ª competição baja SAE Brasil

### 2.3 - IDEALIZAÇÃO DO BAJA ELÉTRICO

A construção de um veículo baja é considerada desafiadora para as equipes em geral pois envolve diversos temas que foram abordados durante as aulas, mas qual seria a importância de construir um baja elétrico no meio acadêmico?

Para responder essa pergunta temos que analisar sobre o futuro da mobilidade e sobre os conceitos que essa tecnologia pode acrescentar para o meio profissional e interesses das universidades, é possível encontrar uma grande quantidade de estudos relacionados aos motores elétricos e sobre meios alternativos e ecológicos de mobilidade que podem estimular o conhecimento dessa tecnologia em universidades, trazendo uma dinâmica nova de aulas mais atrativas e contribuindo para o aproveitamento de atividades ou projetos extracurriculares como o projeto Baja ou Formula SAE.

A cada dia que passa o mundo vem aderindo novas tecnologias que tem como objetivo eliminar as emissões de CO<sub>2</sub> e poluentes da atmosfera, e muitas dessas tecnologias têm como principal fonte de energia a elétrica. Essa tecnologia, mesmo antiga, está sendo estudada e aprimorada por várias empresas, que contribuem para um crescimento sustentável e ecológico.

### 3 - METODOLOGIA

Podemos acompanhar a construção de um baja em vários processos, desde a construção de seu chassi até a instalação de componentes mecânicos e elétricos, a fim de chegar no protótipo pronto para a etapa de testes, nesse projeto temos que levar em consideração a mudança de um sistema inteiro da transmissão, onde será retirado o powertrain a combustão para a implementação do powertrain elétrico, mas será que é possível fazer tal conversão?

Para responder essa pergunta temos que averiguar alguns obstáculos que podemos encontrar no meio do caminho como por exemplo: o preço dos materiais que serão usados, o peso que essas peças vão acrescentar ao veículo, a autonomia que esse protótipo pode alcançar, a potência que o motor pode gerar e a segurança do piloto. Alguns desafios para essa tecnologia foram adaptar essa transmissão para um veículo off road, onde foi criado um projeto do zero, seguindo algumas semelhanças do protótipo movido à combustão, porém com algumas mudanças de dimensionamento e alguns cálculos necessários para ter uma melhor eficiência energética das baterias, afim de garantir um melhor rendimento do veículo, garantindo pelo menos 4 horas de autonomia (tempo de duração da prova mais complexa da competição) e segurança ao piloto que irá conduzi-lo durante as competições.

Foi criado um projeto do protótipo elétrico no software de modelagem Cad chamado Solid Works da empresa Dassault Systems (software que é usado pela equipe Bajuta para a criação de componentes mecânicos e peças que serão usadas nos protótipos de corrida), onde foram modelados todos os componentes que irão compor o veículo, assim como o chassi que consiga adaptar os componentes da transmissão elétrica como os packs de bateria, o motor elétrico trifásico, o inversor e o conversor de energia, que são os principais componentes do sistema de transmissão.

#### 4 DESENVOLVIMENTO

Primeiro foi feita a escolha dos materiais que vão compor a transmissão elétrica, todos esses componentes foram escolhidos de acordo com as necessidades do projeto, obedecendo as dimensões que seguem o modelo que irá ser usado. Os principais componentes para este projeto foram os packs de baterias produzidos por impressão 3D, que além de praticidade de fabricação e custo baixo, terá um ótimo rendimento e as dimensões corretas para o projeto.

Neste projeto, será utilizado o motor W22 IR3 da WEG, que entrega uma boa quantidade de torque, tem a mesma potência de 10 hp utilizada nas competições de baja atualmente e é um motor prático com fácil manutenção. As células de bateria usadas nesse estudo são baterias recarregáveis de 3,7 V e são feitas de Lítio Ion. Abaixo temos uma listagem de todos os materiais que compõem a transmissão, a quantidade de cada material e o preço de mercado, é notável que este não é um comparativo entre os custos de um baja a combustão.

<b>TABELA DE MATERIAIS UTILIZADOS</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>CUSTO UNIDADE</b>	<b>CUSTO</b>
CELULAS DE BATERIA (4.2 V )	609	R\$ 7,50	R\$ 4.567,50
PACK DE BATERIAS	1	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
MOTOR ELÉTRICO	1	R\$ 7.088,41	R\$ 7.088,41
CONVERSOR DC/DC	1	R\$ 29,50	R\$ 29,50
BMS	1	R\$ 117,80	R\$ 117,80
CONTROLADOR	1	R\$ 173,00	R\$ 173,00
COMPONENTES ELÉTRICOS RESTANTES (CABEAMENTO , SISTEMA DE ARREFECIMENTO, CONTADORES E ETC)	-	-	R\$ 1.000,00
DEMAIS MATERIAIS (TUBOS, AMORTECEDORES, SISTEMA DE FRENAGEM, ETC)	-	-	R\$ 10.000,00
<b>CUSTO TOTAL DO PROJETO</b>			<b>R\$ 23.976,21</b>

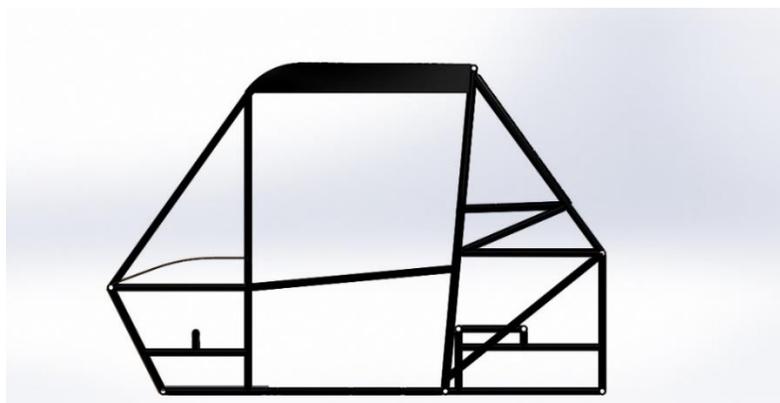
Tabela1 – tabela de componentes do projeto

Depois da escolha dos componentes da transmissão, é necessário refazer o dimensionamento das peças que vão sofrer alterações importantes para adaptar toda transmissão nova do baja: como o chassi, onde vão ser abrigados todos os componentes que fazem parte do automóvel, incluindo o sistema de transmissão elétrico que irá integrar o protótipo. A gaiola de proteção foi inspirada no projeto CLC da equipe Bajuta com algumas alterações específicas.



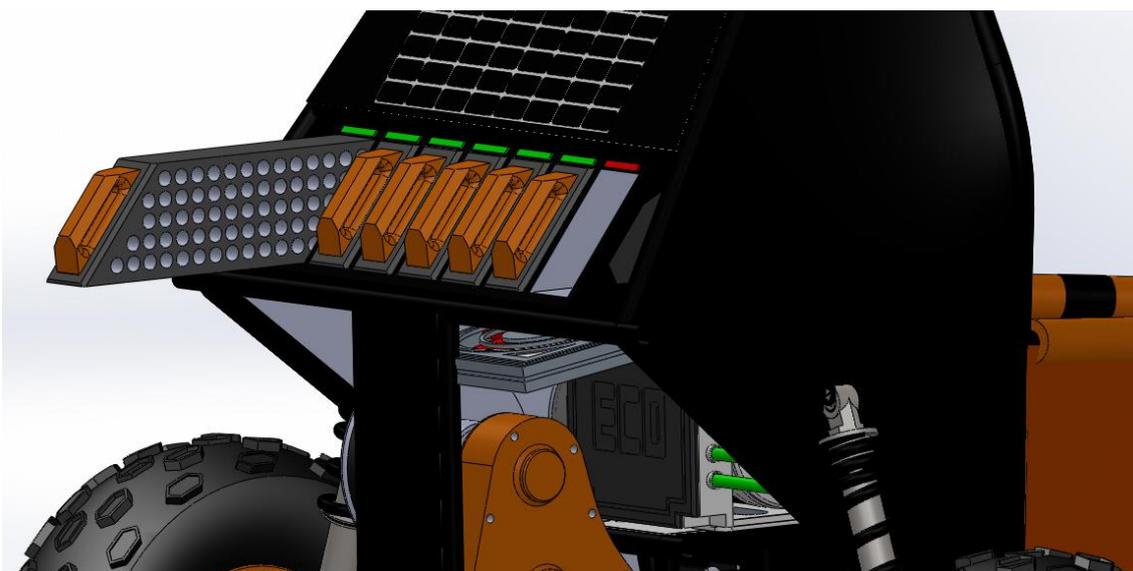
**Figura 19 – Baja Elétrico**

Começando pelo chassi, a estrutura traseira foi alterada, pois o motor a combustão da Marca Briggs & Stratton (que são os únicos motores permitidos na competição de baja da SAE) e os componentes da transmissão a combustão ocupam bastante espaço na região, comparado ao motor elétrico que será usado no projeto e todos os componentes que vão integrar a nova transmissão, o espaço interno do chassi foi bem aproveitado.



**Figura 20 – Chassi Baja Elétrico**

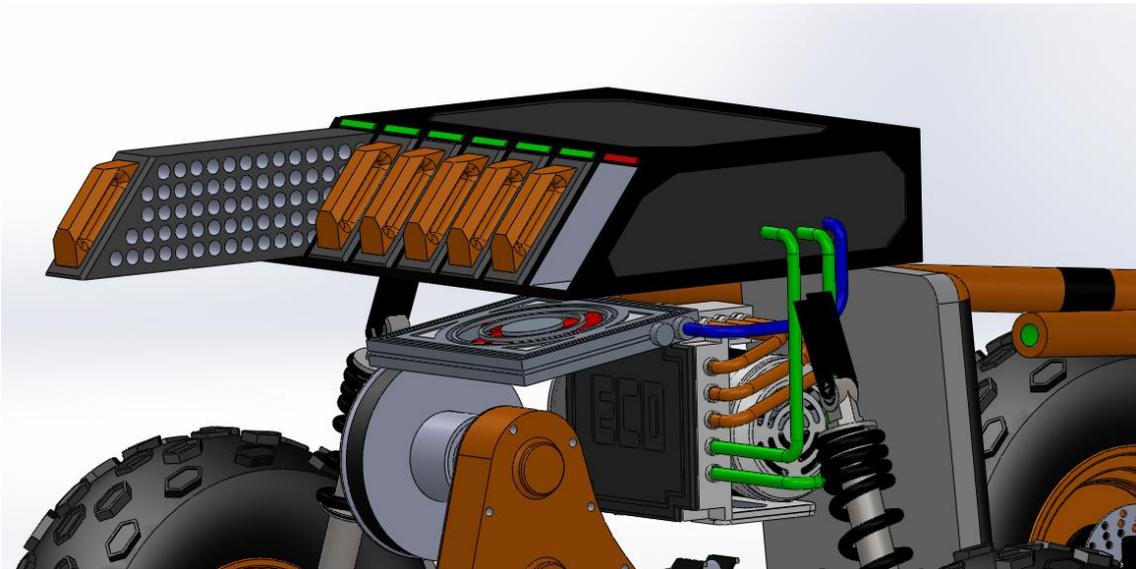
O pack de Baterias ficará alojado acima do powertrain elétrico, onde estará protegido de impactos e vibrações graças a uma gaiola feita com tubos do chassi, além da proteção do pack, o local onde o mesmo se encontra foi pensado com o intuito de melhorar o centro de gravidade do veículo e garantir um melhor resultado nas competições, que exigem bastante resistência estrutural para conseguir ultrapassar os obstáculos sem prejudicar o carro e garantir a segurança do piloto.



**Figura 21- Transmissão elétrica**

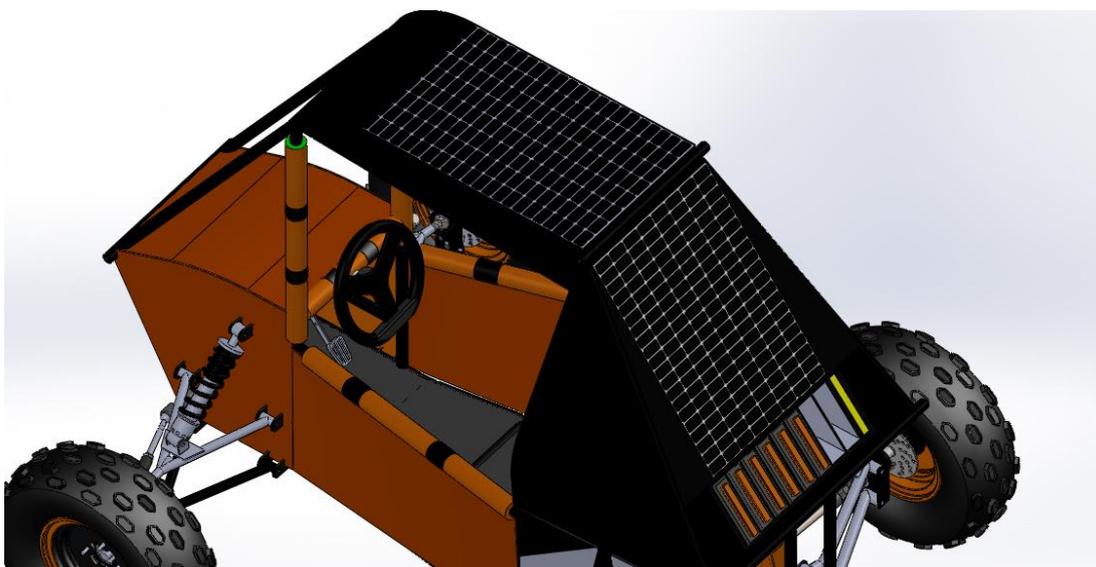
O pack de baterias acima foi projetado com o intuito de garantir mais praticidade de recarga e um melhor rendimento ao baja, nos dias atuais vemos que os principais custos relacionados aos veículos elétricos são provenientes do pack de baterias, para resolver esse problema foi projetado uma estrutura versátil feita em uma impressora 3D para abrigar as células de bateria.

O Sistema é composto por Módulos de bateria que são removíveis, cada módulo abriga 87 células de energia e uma placa de gerenciamento das células para organizar e garantir que cada célula funcione de forma uniforme. O módulo também tem a função de protege-las de poeira, umidade e altas temperaturas que o pack pode alcançar. As baterias presentes no pack aquecem quando estão em funcionamento, por isso foi acoplado um sistema de arrefecimento no pack formado por uma ventoinha e líquidos refrigerantes.



**Figura 22 – Pack de baterias**

Outra atualização importante que vem a melhorar o rendimento da transmissão elétrica é a adição de células fotovoltaicas nas áreas superiores do veículo (na região do teto e da proteção de chuva da área traseira), que tem o intuito de abastecer boa fração da energia que pode alimentar as baterias, para melhorar a sua eficiência e aumentar sua autonomia durante o funcionamento do baja nas competições, sua adição de energia pode até mesmo abastecer outros componentes eletrônicos que acompanham o veículo, eliminando assim o uso de baterias de chumbo que acompanham os modelos de bajas a combustão.



**Figura 23- Células Fotovoltaicas**

Com essa novidade, os carros não têm a necessidade de parar nos boxes da competição para abastecer, apenas para algum conserto ou reparo do veículo. Além das alterações no chassi é preciso analisar o pack de baterias que vai ser utilizado no projeto para entender seu funcionamento.

Com as alterações feitas no projeto, é comum que o peso do veículo tenha aumentado, tanto com a adição de tubos quanto a adição de todo sistema elétrico, vale lembrar que o motor elétrico fornece uma quantidade alta de torque instantâneo, conseguindo tirar o veículo da inércia com mais facilidade, algo que seria muito útil nas competições, visto que um baja durante as competições tem que passar por troncos de árvore, atoladores feitos de lama e outros obstáculos da competição.



**Figura 24- Baja elétrico**

Alguns pontos da construção desse baja são novidade para a maioria dos universitários, pois é uma tecnologia nova e inovadora que vem crescendo ao longo dos anos e vem sendo aderida pela SAE em alguns projetos, como é visto no projeto Formula SAE elétrico e futuramente em uma modalidade baja SAE elétrico. Com todos os itens dimensionados, conseguimos ter uma boa noção de como a transmissão conseguiu ser adaptada e como todos os membros modificados não sofreram alterações bruscas pela adaptação de seu novo powertrain.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois de construir o protótipo virtualmente, podemos definir alguns parâmetros que vão nos ajudar a ter um melhor rendimento do veículo, algumas melhoras no armazenamento de energia e no tempo de duração da bateria durante uma prova da competição baja SAE Brasil que é Chamada Enduro.

Começando com a autonomia do veículo, o quanto de energia que as baterias conseguem armazenar e quantos km podemos percorrer até que a energia armazenada consiga ser totalmente gasta, podemos analisar a longevidade das baterias de acordo com alguns dados que são dados pelos fabricantes.

$$Ct = \frac{N}{I}$$

Onde:

Ct – Capacidade Total de armazenamento

N – Numero de células de energia

I – Amperagem das células (Ah)

Podemos achar o valor da amperagem (I) com a formula:

$$I = \frac{N}{V}$$

Onde:

V – Voltagem individual de cada célula

Depois de calculada a Capacidade total de nossa bateria, podemos analisar o alcance que nosso veículo pode chegar de acordo com o peso total incluindo o sistema de transmissão elétrico que é de aproximadamente 200 Quilogramas (o equivalente a 440 libras), começamos calculando a potência necessária para tirar nosso baja da inércia:

$$W = \frac{P}{10}$$

Onde:

W – Potência necessária para tirar o baja da inércia

P – Peso do baja (Lb)

10 – Constante relacionada à conversão de unidade

Depois de calculada a potência necessária, conseguimos descobrir a autonomia máxima que nosso veículo pode alcançar para conseguir aguentar o tempo de prova do enduro. Podemos empregar a formula:

$$A = \frac{Ct}{W}$$

Onde:

A – Autonomia

Ct – Capacidade total de armazenamento

W – Potência necessária para tirar o baja da inércia

Lembrando também que as placas fotovoltaicas podem ajudar fornecendo energia para o pack durante a competição, podemos calcular essa energia através da formula:

$$Eps = A \times E \times Is$$

Onde:

Eps – Energia Gerada pela Placa Solar (KWh)

A – Area da Placa Solar

E – Eficiencia da Placa Solar

Is – Irradiação solar

Com as formulas fornecidas e os dados apresentados, podemos calcular a eficiência energética e o desempenho de nosso veículo através do cálculo abaixo:

### **CAPACIDADE TOTAL DE ARMAZENAMENTO:**

$$I = \frac{N}{V} = \frac{696}{4,2} = 165,71 \text{ Ah} \quad Ct = \frac{N}{I} = \frac{696}{165,71} = 4,2 \text{ KWh}$$

Sabemos que apenas 80% dessa capacidade é utilizada, então temos que:

$$\frac{80}{100} * 4,2 = 3,36 \text{ KWh}$$

### **POTÊNCIA NECESSARIA:**

$$W = \frac{P}{10} = \frac{440}{10} = 44,0 \text{ Wh/mil}$$

Convertendo nosso resultado para quilômetros, temos:

$$\frac{44,0}{1601} * 1000 = 27,34 \text{ Wh/Km}$$

### **AUTONOMIA:**

$$A = \frac{Ct}{W} = \frac{3360}{27,34} = 122,896 \text{ Km}$$

Com a autonomia calculada e considerando que é possível atingir a uma velocidade de até 40 km/h, podemos achar a duração do nosso veículo durante a competição com a equação de velocidade média:

$$Vm = \frac{Km}{H} \quad \rightarrow \quad H = \frac{Km}{Vm} = \frac{122,896}{40} = 3,07 H$$

Com o acréscimo da energia das placas solares ao longo da competição, temos que:

$$\text{Placa solar 1 – Eps} = (0,6 \times 0,42) \times 0,15 \times 6307 = 264,89 \text{ KWh}$$

$$\text{Placa Solar 2 – Eps} = (0,6 \times 0,43) \times 0,15 \times 6307 = 244,08 \text{ KWh}$$

Somando as duas placas temos um total de 508,97 KWh, agora para descobrir quantos quilômetros a mais podemos ganhar com a energia das placas utilizaremos a fórmula de autonomia novamente

$$A = \frac{E}{W} = \frac{508,97}{27,34} = 18,61 \text{ Km}$$

Contando que o enduro tem 4 horas de duração, temos uma autonomia de 74,44 quilômetros a mais para o carro percorrer, no total então podemos dizer que  $122,896 + 74,44 = 197,336$  km de autonomia total do Baja

$$Vm = \frac{Km}{H} \quad \rightarrow \quad H = \frac{Km}{Vm} = \frac{197,336}{40} = 4,93 H$$

Utilizando apenas a energia do pack de baterias, é possível ter uma autonomia de 122,896 km, com duração equivalente a 3 horas e 7 minutos. Mesmo não atingindo o objetivo de durar 4 horas, devemos considerar que os módulos de baterias são removíveis, facilitando assim a troca dos módulos e também o abastecimento do pack através das células fotovoltaicas, podendo alcançar aproximadamente 197,336 km de autonomia, elevando o tempo de funcionamento do carro em 4 horas e 56 minutos, sendo o suficiente para participar da prova sem problemas de reabastecimento.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos dados fornecidos e nas pesquisas realizadas nesse projeto, podemos concluir que é possível sim construir um baja elétrico, visto que a autonomia calculada é superior ao maior tempo de prova da competição e o torque gerado é suficiente para ultrapassar os obstáculos da competição sem prejudicar a estrutura do veículo e as baterias dele.

Com o software SolidWorks foi possível dimensionar toda transmissão elétrica e perceber se podem existir falhas durante a construção do protótipo. Infelizmente, o elevado preço dos materiais ainda é considerado um problema para o projeto, mas futuramente com a popularização dos carros elétricos e com o avanço das tecnologias de armazenamento de energia, será possível uma diminuição relativa no preço dos materiais, elevando ainda mais a viabilidade de construção do baja elétrico e o interesse de grandes instituições em realizar campeonatos dessa nova categoria.

Com o incentivo dessa tecnologia no meio acadêmico podemos ajudar muito os universitários em sua jornada até a graduação, podendo abrir vários ramos novos na engenharia e modernizando também a grade de matérias, dando mais praticidade e interesse ao curso.

## Referências

<https://garagem360.com.br/carros-eletricos-e-o-mercado-atual/>

[Aula 4 - Veículos Elétricos a Bateria.pdf](#)

<https://mobilidade.estadao.com.br/inovacao/7-vantagens-dos-carros-eletricos/>

<https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/gurgel-itaipu-e400-a-historia-do-primeiro-carro-eletrico-brasileiro/>

<https://ge.globo.com/motor/blogs/voando-baixo/post/2021/04/01/odyssey-21-o-suv-eletrico-que-sera-usado-na-nova-extreme-e.ghtml>

<https://chiptronic.com.br/blog/motor-eletrico-automotivo-entenda-as-diferencas-e-vantagens>

<https://static2.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>

<https://www.ecycle.com.br/irradiacao-solar-por-cidade/>