CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

ADEMAR CAETANO VALLADA JÚNIOR
ARTHUR QUEIROZ HONÓRIO
ARTUR BRAIT CARREIRO
GABRIEL MOLINA
MATHEUS DIRANI SILVA
VINÍCIUS MOREIRA MONTEIRO
VITOR NIIYAMA

PROJETO SAFEBOARD

Plataforma Skateboard – BR-Shuttle

Estudo de absorção de energia para impactos laterais em veículos elétricos

São Bernardo do Campo
2021

ADEMAR CAETANO VALLADA JÚNIOR
ARTHUR QUEIROZ HONÓRIO
ARTUR BRAIT CARREIRO
GABRIEL MOLINA
MATHEUS DIRANI SILVA
VINÍCIUS MOREIRA MONTEIRO
VITOR NIIYAMA

PROJETO SAFEBOARD

Plataforma Skateboard – BR-Shuttle

Estudo de absorção de energia para impactos laterais em veículos elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica com ênfase em Automobilística. Orientado pelo Prof. Carlos Rodrigues Santos Neto.

São Bernardo do Campo

2021

PROJETO SAFEBOARD - Plataforma Skateboard : Estudo de absorção de energia para impactos laterais em veículos elétricos / Ademar Caetano Vallada Júnior...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2021.
112 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Carlos Rodrigues Santos Neto.

1. Veículo elétrico. 2. absorção de energia. 3. plataforma skateboard. 4. estrutura Honeycomb. 5. flambagem progressiva. I. Vallada Júnior, Ademar Caetano . II. Queiroz Honório, Arthur. III. Brait Carreiro, Artur. IV. Molina, Gabriel. V. Dirani Silva, Matheus. VI. Monteiro, Vinícius Moreira. VII. Niiyama, Vitor. VIII. Santos Neto, Carlos Rodrigues, orient. IX. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

VINÍCIUS MOREIRA MONTEIRO
VITOR NIIYAMA
MATHEUS DIRANI SILVA
ADEMAR CAETANO VALLADA JÚNIOR
ARTUR BRAIT CARREIRO
ARTHUR QUEIROZ HONÓRIO
GABRIEL MOLINA

PROJETO SAFEBOARD

Plataforma Skateboard – BR-Shuttle

Estudo de absorção de energia para impactos laterais em veículos elétricos

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica com ênfase em Automobilística.

Comissão julgadora

_____

Orientador e presidente

_____

Examinador (1)

_____

Examinador (2)

São Bernardo do Campo

15/12/2021

Às nossas famílias, amigos e queridos, pelo suporte, parceria e encorajamento para seguir adiante e conquistar nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Roberto Bortolucci, que iniciou a orientação com clareza e executou um excelente norteamento do projeto, mostrando-se sempre disponível para auxílios técnicos.

Ao professor Carlos Rodrigues, pela orientação no decorrer do projeto, garantindo com dedicação e empenho o caminho técnico desenvolvido.

Ao professor Marco Barreto, pelos desafios e questionamentos propostos durante todo o desenvolvimento

À Dassault, pela disponibilização do software 3D Experience, que possibilitou com maestria o desenvolvimento de todo o modelamento 3D, execução de arquivos de montagens e a execução dos desenhos.

Aos professores Fabio Delatore e Cleber Willian Gomes, pelo suporte e orientação quanto à problematização do projeto.

Ao professor Cyro Albuquerque, pela intermediação e facilitação de acesso à infraestutura da faculdade

Ao professor Sandro Vatanabe, pelas orientações, tornando possível a execução das simulações.

À FEI, pela infraestutura disponibilizada e ao corpo docente responsável pela formação dos participantes como profissionais.

Aos nossos familiares por todo auxílio, incentivo e apoio, semestre após semestre até a conclusão desta fase tão importante em nossas vidas.

“A engenharia é a arte de dirigir as grandes fontes de poder na natureza para o uso e conveniência do homem” – Thomas Tredgold

RESUMO

A automobilística está passando por uma imensa transformação, sendo os veículos elétricos cada vez mais presentes na sociedade. Para a aplicação elétrica, é necessário que os veículos tenham um *pack* de baterias, geralmente de Lítio-Polímero (LiPO), para fornecer a energia demandada pelo funcionamento e, por consequência, alguns riscos intrínsecos ao seu uso. Ainda neste contexto, em uma colisão desses veículos específicos, caso ocorra uma perfuração ou rompimento das baterias, ocorre uma reação exotérmica podendo gerar chamas e até mesmo explosões, colocando a segurança dos ocupantes em risco; muito diferente das incêndios normais, dentro das baterias estão contidos o combustível e o comburente, sendo muito difícil extinguir as chamas. Posto isso, este presente projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um absorvedor de energia com o intuito de minimizar o risco à integridade do *pack* de baterias em caso de colisão. Dentre todos os modos de impacto existentes, o lateral se apresenta de maior periculosidade para a ocorrência da problemática e, neste, será direcionado; como estudo de caso, será abordado um veículo autônomo proposto através do programa Rota 2030 da FEI, o BR-Shuttle, para utilização em um conceito *Last Mile.* Como estratégia de absorção de energia, foi aplicado o design *Honeycomb* atrelado ao conceito de flambagem progressiva, que através de estudos e pesquisas atuais, vem demonstrando grande eficiência na absorção de energia de impacto. Também, será apresentado simulações preliminares referente ao comportamento da ideia proposta, bem como uma solução preliminar para aplicação no BR-Shuttle.

Palavras-chave: Veículo elétrico, absorção de energia, impacto lateral, plataforma *skateboard*, estrutura *Honeycomb*, flambagem progressiva.

ABSTRACT

The automobile industry is coing through a huge transformation, with electric vehicles increasingly present on the society. For the electrical application a battery pack is needed, usually considering Lithium-Polymer (LiPO) cells, to supply demanded energy for proper functioning, although, there are some intrinsic risks to its use. In this context, in collisions of electric vehicles, in case of piercing or rupture, an exothermic reaction occurs, which can generate fire and explosions, exposing the safety of the occupants to risk; very different from common flames, the fuel and the oxidizer are present inside the batteries, making fire extinguishing really a very difficult task. With that said, this project goal is to develop an energy absorver in order to minimize the risk to battery pack's integrity in a collision event. Among the possible impact modes, the side impat is the most dangerous for the ocurrency of this failure mode, and based on this it will be developed. As a proposal for the case-study, an autonomous vehicle proposed by FEI Rota 2030 program, BR-Shuttle, which has its application considering the Last Mile concept. As energy absorption strategy, the proposed geometry is to apply a honeycomb design which through the behavior of progressive buckling, has shown great efficiency absorbing impact energy. In addition, preliminary simulations regarding the behaviour of proposed idea will be presented, as well as a preliminary solution for BR-Shuttle application.

Keywords: Electric vehicles, energy absorption, side impacts, skateboard chassis, *Honeycomb structures*, progressive buckling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Países com mais carros elétricos em circulação 17
Figura 2 - Licenciamento de veículos elétricos no Brasil 18
Figura 3 - Comparação - Veículo à combustão interna *vs* Veículo elétrico 18
Figura 4 - Representação do estrago causado pela bateria após um acidente 19
Figura 5 - Sequencial de dimensionamento de bateria 25
Figura 6 - Diagrama de corpo-livre 25
Figura 7 - Flambagem progressiva 28
Figura 8 - Modos de flambagem progressiva 28
Figura 9 - Gráfico de carregamento - Variação de carga estática 29
Figura 10 - Representação do conceito BR-Shuttle 31
Figura 11 - Problematização do projeto 32
Figura 12 - Golden Circle 33
Figura 13 - Estrutura honeycomb 35
Figura 14 - Aplicação do honeycomb na BMW i3 36
Figura 15 - Representação do container de seguraça 37
Figura 16 - Aplicação da fibra de carbono no modelo Série 7 da BMW 37
Figura 17 - Combinação de fibra de carbono, alumínio e canais vazados no painel lateral da plataforma FW-EVX 38
Figura 18 - Aplicação de fibra de carbono nos módulos das baterias da plataforma FW-EVX 38
Figura 19 - Plataforma com utilização de reforços transversais 39
Figura 20 - *Layout* das baterias em veículos elétricos 39
Figura 21 - Storyboard 43
Figura 22 - Boundary Diagram 44
Figura 23 - P-Diagram 45
Figura 24 - Análise Funcional (Fast) 48
Figura 25 - Fluxograma de melhoria 49
Figura 26 - Business canvas 50
Figura 27 - Projetc canvas 51
Figura 28 - Cronograma 51
Figura 29 - Conceito Final 52
Figura 30 - Plataforma de Estudo 54

Figura 31 - Linhas de Dissipação de Energia 54
Figura 32 - Vista Superior da Plataforma 55
Figura 33 - Componentes de Absorção Energia de Impactos Laterais 56
Figura 34 - Barras Laterais e Transversais 56
Figura 35 - Perfil das Barras 57
Figura 36 - Barras Suporte 57
Figura 37 - Barras Base 58
Figura 38 - Suporte X 58
Figura 39 - Proposta de absorvedor 59
Figura 40 - Diagrama tensão-deformação em função da densidade drelativa 60
Figura 41 - Gráfico de correlação entre força máxima e energia absorvida 61
Figura 42 - Configuração de honeycomb 62
Figura 43 - Processo de manufatura aditiva 63
Figura 44 - Cargas provenientes da suspensão 64
Figura 45 - Pontos Para Análise de Cargas Verticais 64
Figura 46 - Resultados da Simulação de Cargas Verticais 65
Figura 47 - Celula de energia - Melasta 67
Figura 48 - Células contrapostas 68
Figura 49 - Dimensional - *Pack* de baterias 68
Figura 50 - Invólucro das baterias 69
Figura 51 - Composição dos custos relevantes 70
Figura 52- Malha painel lateral simplificado 72
Figura 53 - Malhas externas: carroceria (180mm) e poste (70mm) 73
Figura 54 – Malha longarina externa (60mm) 73
Figura 55 - Engastamentos 74
Figura 56 - Velocidade e massa 74
Figura 57 - Deformação sem painel lateral 75
Figura 58 - Deformação com painel lateral 75
Figura 59 - Energia interna por deslocamento, sem painel lateral 76
Figura 60 - Energia interna por deslocamento, com painel lateral 76
Figura 61 - Energia absorvida por percentual de deslocamento 77
Figura 62 - Energia interna absorvida por tempo, sem painel lateral 78
Figura 63 - Energia interna absorvida por tempo, com painel lateral 78
Figura 64 - Possível plataforma futura 81

Figura 65 - Detalhamento componentes propostos frontais e traseiros 82
Figura 66 - Plataforma futura com linhas de absorção de energia 83
Figura 67 - Simulação EURO NCAP proposta 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações dos tipos de baterias 23
Tabela 2 - Golden Circle 33
Tabela 3 - Avaliação rápida de viabilidade 34
Tabela 4 - Matriz de decisão inicial 40
Tabela 5 - Matriz de decisão final 41
Tabela 6 - Engenharia reversa 44
Tabela 7 - Funções dos componentes 46
Tabela 8 - Classificações das funções 46
Tabela 9 - Definição dos Parâmetros Iniciais 53
Tabela 10 - Propriedades e dimensões do Honeycomb 62
Tabela 11 - Dados para dimensionamento do *pack* de baterias 65
Tabela 12 - Dados para dimensionamento do *pack* de baterias - Continuação 66
Tabela 13 - Propriedades mecânicas dos materiais 72

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Força trativa 25
Equação 2 - Corrente média do sistema 26
Equação 3 - Corrente máxima do sistema 26
Equação 4 - Determinação da associação de células em série 26
Equação 5 - Determinação da associação de células em paralelo 26
Equação 6 - Energia cinética 27
Equação 7 - Energia absorvida pela estrutura 29
Equação 8 - SEA - Energia absorvida específica 29
Equação 9 – Força média de reação ao impacto 30
Equação 10 - Eficiência da força de reação ao impacto 30
Equação 11 – Carga Vertical na Região da Suspensão 64
Equação 12 - Cálculo da melhoria na absorção 79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

SIGLA		DESCRIÇÃO
DENATRAN	-	Departamento Nacional de Trânsito
CG	-	Centro de gravidade
INEE	-	Instituto Nacional de Eficiência Energética
EUA	-	Estados Unidos da América
VE	-	Veículos elétricos
PbA	-	Chumbo-ácido
NiMH	-	Níquel-metal-hidreto
LiPO		Lítio-polímero
DC	-	Corrente direta (*current direct*)
PAN		Poliacrilonitril
DFMEA		Análise dos Efeitos e Modos de Falha em Projeto (*Design failure mode and effect analysis*)
FAST		Árvore sistêmica de análise funcional(*Functional Analysis System Tree*)
DMF		Impressão metálica direta (*Direct Metal Print*)

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO		DESCRIÇÃO
F_{trat}	-	Força trativa [N]
F_{acel}	-	Força de aceleração [N]
F_{rol}	-	Força de resistência ao rolamento [N]
F_{aer}	-	Força de resistência aerodinâmica [N]
F_{grad}	-	Força de gradabilidade [N]
$I_{média}$	-	Intensidade de corrente média [A]
P_{motor}	-	Potência do motor [W]
V_{motor}	-	Tensão do motor [V]
$I_{máx}$	-	Intensidade de corrente máxima [A]
$V_{máx}$	-	Tensão máxima requeridade pelo sistema [V]
V_{cell}	-	Tensão fornecida por uma célula [V]
I_{cell}	-	Intensidade da corrente fornecidade por uma célula [A]
E_c	-	Energia cinética do veículo [W]
m	-	Massa total do sistema [kg]
V	-	Velocidade veicular [m/s]
F_{cr}	-	Força crítica [N]
E_a	-	Energia absorvida [J]
SEA	-	Energia absorvida específica (*Specific Energy Absorber)* [kJ]
$F(\delta)$	-	Força de reação em função da deforça [N]
$\delta_{máx}$	-	Deformação máxima [mm]
$F_{média}$	-	Força média de reação ao impacto [kN]
$F_{máx}$	-	Força máxima de impacto [kN]
CFE	-	Eficiência da força de reação ao impacto (C*rushing Force Efficiency)* [kN]
σ_y	-	Tensão de escoamento do material [Mpa]
t	-	Espessura da parede da célula honeycomb [mm]
l	-	Espessura da parede da célula honeycomb [mm]
ν	-	Coeficiênte de Poisson do material
E	-	Módulo de elasticidade do material [GPa]
Et	-	Módulo de encruamento do material [GPa]
F_{dist}	-	Força de distribuição de carga [N]

SUMÁRIO

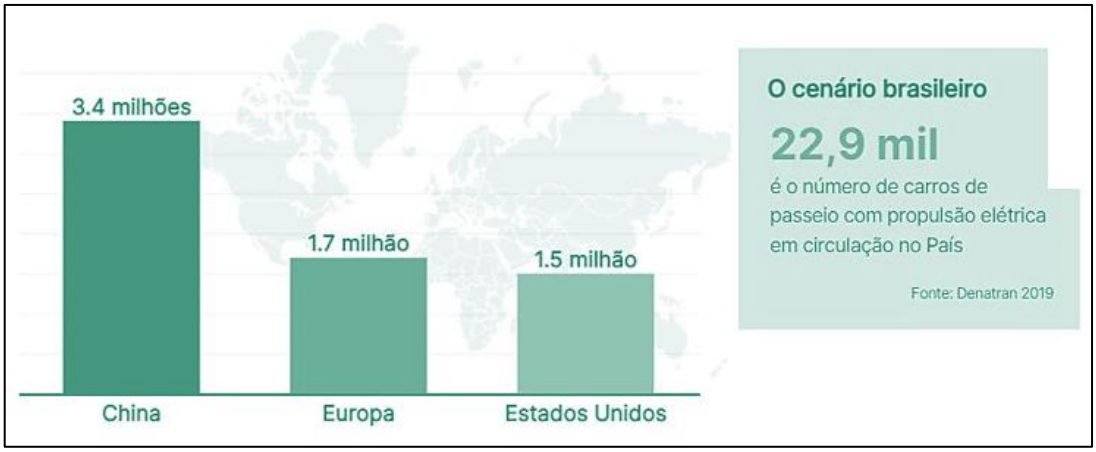
1 INTRODUÇÃO 17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS - CONCEITOS E DEFINIÇÕES 20
2.2 HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS 20
2.3 BATERIAS DE TRAÇÃO 22
2.3.1 Tipos de baterias 23
2.3.1.1 Bateria de chumbo-ácido 23
2.3.1.2 Bateria de níquel-metal-hidreto (NiMH) 24
2.3.1.3 Bateria de íon-lítio (LiPO) 24
2.3.2 Dimensionamento de baterias de íon-lítio 24
2.3.2.1 Análise de forças trativas 25
2.3.2.2 Definição de motor, inversor e link-DC 25
2.3.2.3 Configuração do pacote de células 26
2.4 IMPACTO EM ESTRUTURAS 27
2.4.1 Colisão e energia de impacto 27
2.4.2 Flambagem progressiva e absorção de energia 27
2.4.3 Eficiência da absorção 29
3 DIRETRIZES DO PROJETO 31
3.1 PROBLEMATIZAÇÃO DO PROJETO 32
3.2 GOLDEN CIRCLE 32
3.3 AVALIAÇÃO RÁPIDA DE VIABILIDADE 34
3.4 BENCHMARKING 34
3.4.1 Manufatura aditiva 35
3.4.2 Estrutura honeycomb 35
3.4.3 Container de segurança 36
3.4.4 Aplicação de fibra de carbono 37
3.4.5 Combinação de materiais 37
3.4.6 Chassis com reforços transversais 38
3.4.7 Disposição das baterias 39
3.5 MATRIZ DE DECISÃO DO DESIGN RECOMENDADO 40
3.6 STORYBOARD 42
3.7 BOUNDARY DIAGRAM 43
3.8 ENGENHARIA REVERSA 44
3.9 P-DIAGRAM 45
3.10 ANÁLISE DE VALOR 46
3.11 ANÁLISE FUNCIONAL (FAST) 47

3.12 DFMEA – DESIGN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS 48
3.13 FLUXOGRAMA DE MELHORIAS (VITOR/DIRANI) 48
3.14 PLANEJAMENTO 49
3.14.1 Business canvas 49
3.14.2 Project canvas 50
3.14.3 Cronograma 51
4 DESENVOLVIMENTO 52
4.1 PLATAFORMA SKATEBOARD 53
4.2 COMPONENTES DA PLATAFORMA 55
4.3 PAINEL LATERAL 59
4.3.1 Processo de fabricação do painel lateral 62
4.4 VERIFICAÇÃO DE CARGAS DA SUSPENSÃO 63
4.5 *PACK* DE BATERIAS 65
5 CUSTO DO PROJETO 70
6 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO 71
6.1 METODOLOGIA 71
6.2 HARDWARE E SOFTWARE 71
6.3 MATERIAIS APLICADOS 71
6.4 MODELO E DISCRETIZAÇÃO DE ELEMENTOS FINITOS 72
6.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO 73
7 RESULTADOS 75
8 CONCLUSÃO 80
9 TRABALHOS PROPOSTOS 81
REFERÊNCIAS 84
ANEXOS 89
ANEXO A - SIMULAÇÕES 89
ANEXO B - DESENHOS TÉCNICOS 94
ANEXO C - DATASHEET – BATERIAS MELASTA 109
ANEXO D - DATASHEET – WEG – Motor elétrico e inversor de frequência 111
ANEXO E - DFMEA 112

1 INTRODUÇÃO

A corrida para a eletrificação é uma realidade no mundo inteiro, onde os fabricantes de veículos procuram a solução mais viável para seus produtos. Segundo dados do DENATRAN (2019), atualmente a China tem sido o polo da presença dos veículos elétricos, com 3,4 milhões de unidades, seguido por Europa e Estados Unidos, conforme dados apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Países com mais carros elétricos em circulação



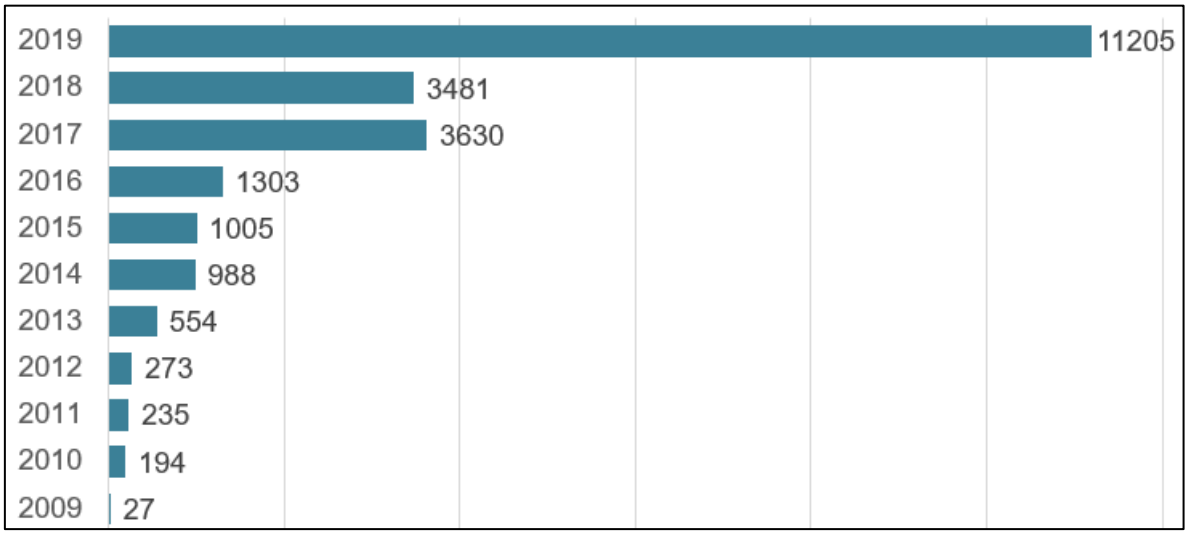
Fonte: DENATRAN, 2019

No Brasil, é possível observar um grande interesse nos veículos elétricos, com 22,9 mil unidades contabilizadas até o ano de 2019. Ainda com um mercado tímido e necessitado de incentivos, um de seus maiores alavancadores é o programa federal de incentivo a indústria Rota 2030.

O Rota 2030 é a Lei 13.755, equivalente a uma remodelação do prévio programa de incentivo “Inovar Auto” - que previa incentivos a empresas que atendessem condições estipuladas para a pesquisa e desenvolvimento (ROTA 2030, 2021).

Através da Figura 2 é possível notar que no ano de 2019 houve um aumento de 321% quando comparado ao ano anterior, 2018. Isto traduz a boa aceitação e prospecção do mercado elétrico no Brasil. Além de conter novas tecnologias e ter um diferencial em performance veicular, os veículos elétricos também se mostram vantajosos frente ao alto preço dos combustíveis derivados de petróleo (DENATRAN, 2019).

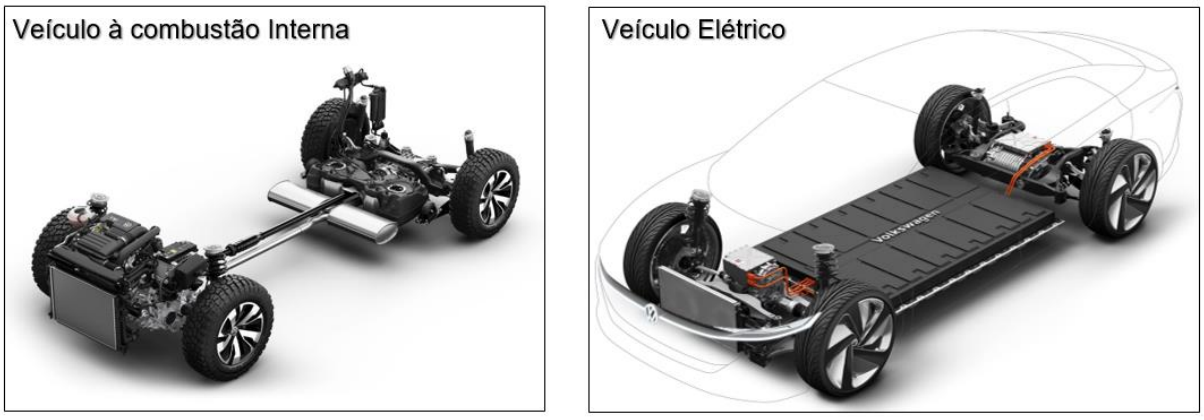
Figura 2 - Licenciamento de veículos elétricos no Brasil



Fonte: DENATRAN, 2019

No mundo da eletrificação, os veículos elétricos utilizam estruturas comumente chamadas de “Plataformas Skateboard”; ela se destaca por propiciar uma performance superior aos veículos convencionais devido ao melhor posicionamento do Centro de Gravidade (CG) e sua melhor distribuição de massa, o que se dá principalmente pela distribuição das baterias no centro do veículo. A fim de estabelecer um comparativo, a Figura 3 apresenta duas construções típicas de veículos de passeio onde pode-se observar suas principais diferenças em *layout*.

Figura 3 - Comparação - Veículo à combustão interna *vs* Veículo elétrico



Fonte: Autor “adaptado de” Andrejcak 2018, Fernández, 2018

É possível destacar ainda nos veículos elétricos uma menor emissão de poluentes, eficiência energética superior, entre outras vantagens que o torna tecnicamente superior aos veículos à combustão interna que existem hoje.

Em quesito de segurança, veículos tradicionais são projetados com grande foco na carroceria para impactos frontais e em soluções no habitáculo do motor, evitando que o

mesmo seja projetado em direção aos ocupantes. Os veículos elétricos, entretanto, recebem uma atenção maior a fim de garantir a integridade das baterias. Como as mesmas são distribuídas por todo o assoalho do veículo, a deformação em qualquer tipo de colisão deve ser controlada.

O motivo desta preocupação é devido a impactos nestas baterias podem ocasionar incêndios e, até mesmo, explosões em caso de avarias. Para isso, estudos e análises devem ser feitos para que em caso de colisões a deformação seja controlada e sua energia seja absorvida pela estrutura, garantindo assim a que a integridade das baterias não seja comprometida.

Figura 4 - Representação do estrago causado pela bateria após um acidente

Fonte: Elliott, 2013

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VEÍCULOS ELÉTRICOS - CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE, 2021), veículos elétricos são aqueles acionados por pelo menos um motor elétrico. Sendo a energia elétrica o combustível de um veículo elétrico, é possível classificá-lo em cinco categorias de acordo com a forma de obtenção da energia.

Em veículos elétricos a bateria, a energia é fornecida por um conjunto destas que são recarregadas na rede elétrica. Enquanto em veículos híbridos a energia é gerada por um gerador a bordo que é acionado por um motor à combustão interna; esta energia também é armazenada em baterias, permitindo que o motor opere apenas em condições ótimas ou fique desligado.

Para veículos de célula a combustível existe um equipamento elétro-químico que transforma a energia do hidrogênio diretamente em eletricidade e a armazena em baterias ou capacitores, de maneira análoga aos híbridos.

Existem ainda os veículos ligados diretamente à uma rede externa, através de cabos aéreos e um sistema de indução eletromagnética. Este modelo é muito comum no estado de São Paulo através da rede de trólebus, no entanto, é limitado pelo alto custo de infraestrutura e dificuldade de trânsito.

Por fim, é possível citar o veículo elétrico solar, para os quais a energia é obtida através de placas fotovoltaicas, cuja limitação está no tamanho dos veículos que limitam a dimensão dos painéis e, consequentemente, sua potência.

Embora os veículos elétricos tenham ganho notoriedade no cenário internacional de veículos de passeio a partir da segunda década do século XXI, Baran e Legey (2012, p.212) ressaltam que esta não é uma tecnologia recente, uma vez que chegaram a dominar parcelas significativas do mercado no início da história dos automóveis e posteriormente acabaram perdendo espaço para os tradicionais veículos à combustão.

2.2 HISTÓRIA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

De acordo com Ferreira e Dias (2021, p. 141), a história dos veículos elétricos está intimamente relacionada com a história das baterias. Iniciando-se no ano de 1800, o italiano Alessandro Volta demonstrou que é possível armazenar a energia elétrica quimicamente através das baterias. Isto possibilitou que, em 1831, Michael Farraday utilizasse os princípios

da indução eletromagnética para desenvolver o primeiro motor elétrico e gerador – que são necessários para os veículos elétricos.

Delgado et al. (2017, p.13) cita que no período entre 1851 e 1900 os veículos elétricos entram no mercado e encontram ampla aceitação. Sendo que no ano de 1900 se torna o veículo rodoviário mais vendido nos EUA, representando 28% do mercado.

O início do século XX ficou marcado com o declínio nas vendas e utilização dos veículos elétricos. Ferreira e Dias (2021, p. 142) pontuam quatro fatores que mais justificavam esta queda de aceitação do produto. O primeiro fator se dá pelo início do processo de produção em série conhecido como “fordismo”, que permitiu que o preço de veículos à combustão correspondesse à metade do preço dos veículos elétricos. O segundo pelo desenvolvimento da partida elétrica, que dispensou o uso da manivela para acionar os veículos a combustão. O terceiro pela necessidade de um veículo capaz de transladar as longas distâncias das rodovias nos EUA. E, por fim, a redução do preço da gasolina após descobertas de petróleo no Texas.

Outros fatores ainda são lembrados como a baixa quantidade de mecânicos que compreendessem o funcionamento dos motores elétricos e aspectos relacionados à baixa capacidade de armazenamento das baterias (que implicavam na dificuldade de subir ladeiras, baixa velocidade e baixa autonomia).

Na segunda metade do século XX o alto preço do petróleo e os elevados níveis de poluição atmosférica renovam o interesse em veículos elétricos. E, em 1966, o congresso dos EUA introduz uma legislação recomendando o uso de veículos elétricos como medida de redução da poluição (DELGADO et al; 2017, p.13).

A partir da década de 70 o debate sobre impactos ambientais, exploração e consumo de recursos naturais se tornou muito recorrente, porém, os protótipos de veículos elétricos desenvolvidos no período não chegavam às linhas de produção. Em 1992, no Rio de Janeiro, foi realizada a conferência Rio-92, onde surgiu a agenda 21 – um plano global de ações para combater os problemas socioambientais causado pelo uso excessivo de combustíveis fósseis.

Em 1997, no Japão, a Toyota lançou o Prius – primeiro carro híbrido comercial do mundo, vendendo 18 mil unidades no primeiro ano. Embora os números de vendas tenham sido considerados um fracasso no país oriental, em 2000 o Prius foi lançado nos EUA e foi considerado um sucesso maior que o esperado pela Toyota (FERREIRA, DIAS, 2021, p. 143-144).O ano de 2003 é marcado pelo surgimento da Tesla Motors – que viria a se tornar a maior empresa de veículos elétricos anos depois. De 2011 para 2015 o estoque de VEs salta

de 50 mil para 1,26 milhão de veículos no mundo, enquanto a quantidade de eletropostos atinge o número de 1,45 milhão (DELGADO et al; 2017, p.13).

O preço do *pack* de baterias utilizado pela Tesla atinge uma baixa recorde em 2016, chegando a US$190/kWh, o que mostra que o avanço das vendas de veículos elétricos no mundo está diretamente relacionado com a viabilização de baterias que oferecem a maior capacidade de autonomia possível no menor custo.

2.3 BATERIAS DE TRAÇÃO

Ribeiro, Barros e Veiga (2013, p. 445) definem uma bateria como um acumulador capaz de transformar energia química em energia elétrica e vice-versa. Existem dois polos em uma bateria: o anodo, polo negativo, onde ocorre a uma reação de oxidação; e o catodo, polo positivo, onde ocorre a reação de redução. Quando os elétrons migram do anodo para o catodo este fluxo de elétrons provoca uma corrente elétrica que, desta forma, gera a energia elétrica.

As baterias presentes em veículos elétricos, chamadas de “baterias de tração”, diferenciam-se das tradicionais presentes em veículos a combustão pela tensão. Enquanto as tradicionais possuem, em média, 12 V (Volts) de tensão, as baterias de tração possuem entre 300 e 1000 V. De acordo com o grau de hibridização/eletrificação de um veículo, a demanda de energia vinda das baterias irá variar, o que provoca o descarte de determinadas tecnologias para algumas aplicações. A Tabela 1 estabelece uma relação entre o grau de eletrificação, funções que normalmente as diferenciam e o tipo de bateria normalmente aplicada em cada um dos casos (RIBEIRO, BARROS, VEIGA, 2013, p. 453).

Tabela 1 - Aplicações dos tipos de baterias

Tipo de veículo	Convencional	Micro híbrido	Híbrido Médio	Híbrido completo	Elétrico puro
Funções	- Alimentação dos sistemas elétricos - Partida	- Partida - Frenagem regenerativa (limitada)	- Partida - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração	- Partida - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração - Propulsão elétrica	- Partida - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração - Propulsão elétrica (distância estendida)
Potência típica do motor elétrico	Não tem	Não tem	10-20 kW	30 kW	90 kW
Baterias aplicáveis	PbA	PbA – EFB (melhorada) PbA – VRLA (se tiver frenagem regenerativa)	PbA NiMH	NiMH Íon-lítio	Íon-lítio

Fonte: Ribeiro, Barros, Veiga, 2013, p. 453 (Adaptado)

2.3.1 Tipos de baterias

Existem diversos tipos de baterias, no entanto, poucas são aproveitadas pela indústria de veículos elétricos. Com base em Husain (2003), é possível compreender que o motivo que torna uma bateria atrativa para a indústria é a necessidade de reunir algumas características como alta energia específica (relação entre capacidade de armazenamento de energia com a sua massa); alta potência específica (potência disponível por unidade de massa); baixo custo; alta quantidade de ciclos de vida; baixo tempo de recarga e segurança.

2.3.1.1 Bateria de chumbo-ácido

A bateria de chumbo-ácido é a de desenvolvimento mais antigo entre as baterias aplicadas em veículos elétricos e são populares até hoje devido a possibilidade de serem projetadas com alta potência, serem baratas, seguras e confiáveis. Embora sejam extremamente agressivas ao meio ambiente, existe uma infra-estrutura de reciclagem para estas baterias. No entanto, a baixa energia específica, baixo desempenho em temperaturas frias e baixo ciclo de vida são os empecilhos para seu uso em veículos elétricos puros ou híbridos completos (HUSAIN, 2003).

2.3.1.2 Bateria de níquel-metal-hidreto (NiMH)

Noce (2009) descreve que a bateria de NiMH foi a primeira utilizada em larga escala após a de chumbo-ácido para aplicações tracionárias. Entre as vantagens desta bateria é possível citar um ciclo de vida muito superior quando comparada às de chumbo-ácido, além de serem seguras (HUSAIN, 2003).

Entre suas desvantagens é possível citar o custo relativamente alto, a baixa capacidade de aceitação de carga em temperaturas elevadas e baixa eficiência da célula (HUSAIN, 2003). Outro empecilho está nos registros de problemas que ficaram conhecidos como "efeito memória" – quando repetitivos ciclos de recargas incompletas/irregulares acabavam impactando na vida útil da bateria, contudo, segundo Noce (2009) este problema inexiste quando carregada de maneira correta utilizando-se de carregadores específicos.

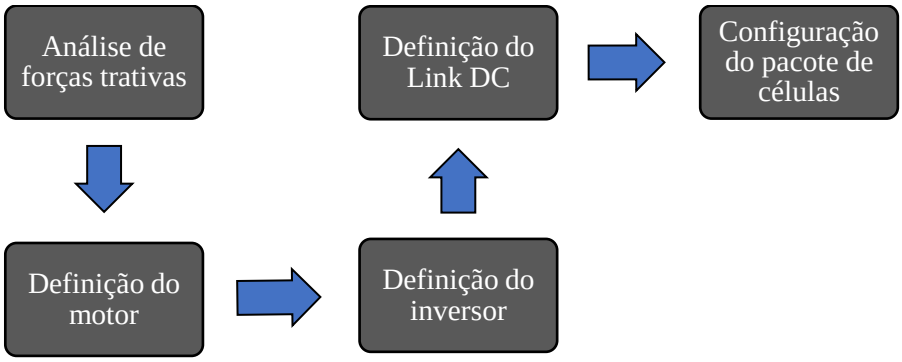
2.3.1.3 Bateria de íon-lítio (LiPO)

Husain (2003) comenta que o metal de lítio sempre se mostrou promissor para uso em baterias devido ao alto potencial de redução eletroquímica e baixa massa atômica. A tensão nominal em uma célula de íon-lítio é 3,6 V, equivalente a três células de baterias de NiMH. As baterias de íon de lítio têm alta energia específica, alta potência específica, alta eficiência energética, bom desempenho em alta temperatura e baixa autodescarga. Essas características tornam as baterias de íon-lítio altamente adequadas para uso de veículos elétricos e híbridos, contudo, é possível citar como desvantagem desta bateria o risco de inflamabilidade do gás de lítio em contato com o ar em caso de dano às baterias.

2.3.2 Dimensionamento de baterias de íon-lítio

Schaltz (2011) sugere as etapas descritas na Figura 5 para realizar o dimensionamento de um conjunto de baterias de íon-lítio para aplicação em veículos elétricos, devido a alta capacidade de armazenamento de energia específica, atrelado capacidade de energia com baixo peso.

Figura 5 - Sequencial de dimensionamento de bateria

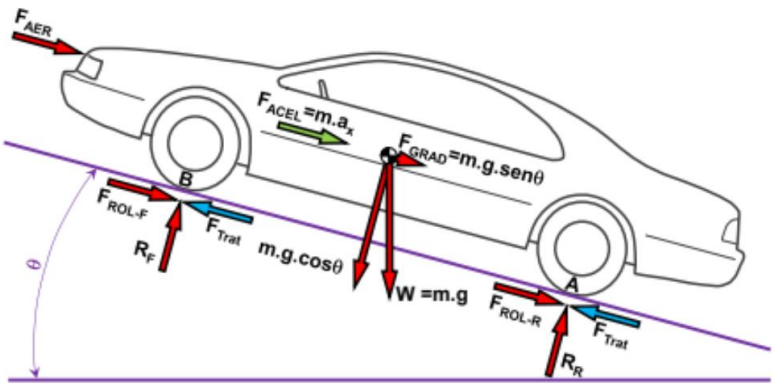


Fonte: Autor “adaptado de” Schaltz, 2011

2.3.2.1 Análise de forças trativas

Para analisar as forças trativas, é necessário desenvolver o diagrama de corpo-livre, indicando as forças atuantes no veículo, conforme demonstrado por Schaltz (2011). Podemos obter a referidas forças através da modelagem apresentada por Perestrelo e Barreto (2018) na Figura 6 e da Equação 1.

Figura 6 - Diagrama de corpo-livre



Fonte: Simpósio SAE, 2011

A força trativa de um veículo, pode ser obtida através da modelagem conforme a seguinte equação (Ehsani et al, 2005)

Equação 1 - Força trativa

$$F_{trat} = F_{acel} + F_{rol} + F_{aer} + F_{grad}$$

2.3.2.2 Definição de motor, inversor e link-DC

Deve-se consultar os catálogos, cartilhas e gráficos de eficiência a fim de selecionar um motor que atenda as exigências e propostas requeridas pelo sistema.

2.3.2.3 Configuração do pacote de células

Uma vez selecionados o motor, inversor e link DC, segue-se então para a determinação das correntes que serão utilizadas no sistema (corrente média e máxima), através das Equação 2 e Equação 3 a seguir:

Equação 2 - Corrente média do sistema

$$I_{médio} = \frac{P_{motor}}{V_{motor}}$$

Equação 3 - Corrente máxima do sistema

$$I_{máx} = \frac{P_{motor}}{V_{motor}} =$$

Com os módulos das correntes exigidas pelo sistema e os valores de corrente e tensão fornecidos pelas células, parte-se então para a determinação do arranjo necessário para o pacote de células.

Posto isso, a razão entre a tensão máxima requerida pelo sistema e a tensão fornecida por uma célula obtem-se a quantidade de células em associadas em série necessárias para o fornecimento requerido pelo circuito, conforme apresentados através da

Equação 4 - Determinação da associação de células em série

$$Quantidade_{\ série} = \frac{V_{máx}}{V_{cell}}$$

De semelhante modo, quantidade de associação de células em paralelo pode ser obtida através da razão entre a corrênte máxima requerida pelo sistema e a intensidade fornecida pela célula, conforme demonstrado na

Equação 5 - Determinação da associação de células em paralelo

$$Quantidade_{\ paralelo} = \frac{I_{máx}}{I_{cell}}$$

Posto isso, é possível determinar qual é a associação necessária para o fornecimento de energia requisitada pelo veículo, sendo apenas necessário determinar a disposição e armazenamento das células.

2.4 IMPACTO EM ESTRUTURAS

2.4.1 Colisão e energia de impacto

Conforme descrito por Halliday, Walker e Resnick (2011), em uma colisão entre dois corpos, a força exercida sobre o corpo é de curta duração, tem um módulo elevado e provoca a mudança brusca de momento linear do corpo, momento este resultante do produto da massa total do sistema pela velocidade do centro de massa.

A energia cinética pode ser caracterizada pela metade do produto entre a massa total do veículo em movimento e o quadrado da velocidade desempenhada pelo mesmo, conforme Equação 6 abaixo:

Equação 6 - Energia cinética

$$E_c = \frac{m \,.\, V^2}{2}$$

Em um sistema dinâmico, ao acontecer o contato entre dois corpos, parte da energia cinética antes existente é transformada em outra forma de energia, como térmica, sonora e de deformação, resultando na desaceleração do corpo ou corpos. Tal modelo é caracterizado como colisão inelástica.

Conforme estudado por Alves (2009), em uma colisão que envolve um absorvedor, a dissipação de energia ocorre através da conversão de energia cinética em deformação. Neste contexto, o termo *crashworthiness* se refere a capacidade de uma estrutura em realizar tal conversão; quando aplicados os conceitos de segurança veicular, "...quanto maior o nível de energia armazenada na estrutura veicular, menor a transferência de energia para o interior do compartimento dos passageiros e menos severos serão os danos causados." (ALVES, 2009).

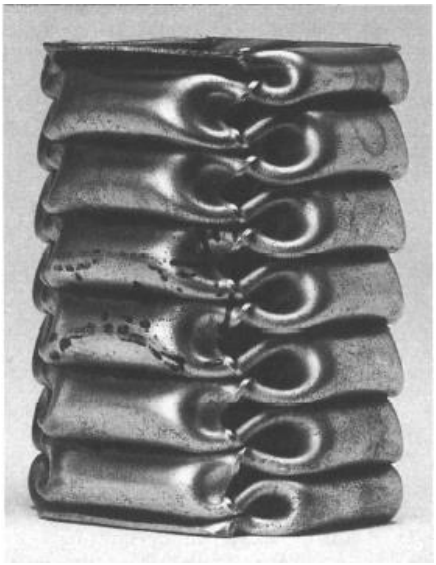
2.4.2 Flambagem progressiva e absorção de energia

Conforme descrito por Hibbeler (2010), um elemento é submetido a uma compressão axial e, em resposta, apresenta uma oscilação ou deflexão lateral; muito recorrente em elementos compridos e esbeltos, este fenômeno dá-se o nome de Flambagem e representa uma instabilidade elástica que pode resultar em uma falha mesmo antes de atingir seu limite de escoamento.

Conforme Karagiova e Jones (2008), flambagem pode ser caracterizada em diversos modos, dentre eles: global, mista e progressiva, sendo este último o abordado para o presente estudo.

A flambagem progressiva é caracterizada como uma sequência de dobras que, geralmente iniciam-se nas extremidades dos elementos, e podem se estender ao longo o perfil no qual é aplicado a compressão, conforme Figura 7.

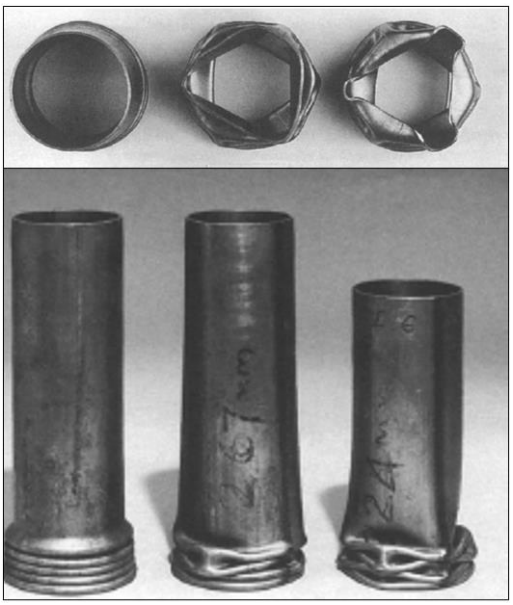
Figura 7 - Flambagem progressiva



Fonte: Jones, 1997

A flambagem progressiva também se ramifica em dois modos: axissimétrico (concertina) e não axissimétrico (diamante) (RODRIGUES,2019); na Figura 8 apresenta-se o modo axissimétrico a direita e o não axissimétrico ao centro e direita.. Dentre todos os modos apresentados, segundo Karagiozova, Alves e Jones (2000), o assimétrico corresponde ao mecanismo mais eficiente quando observado o aspecto de absorção de energia.

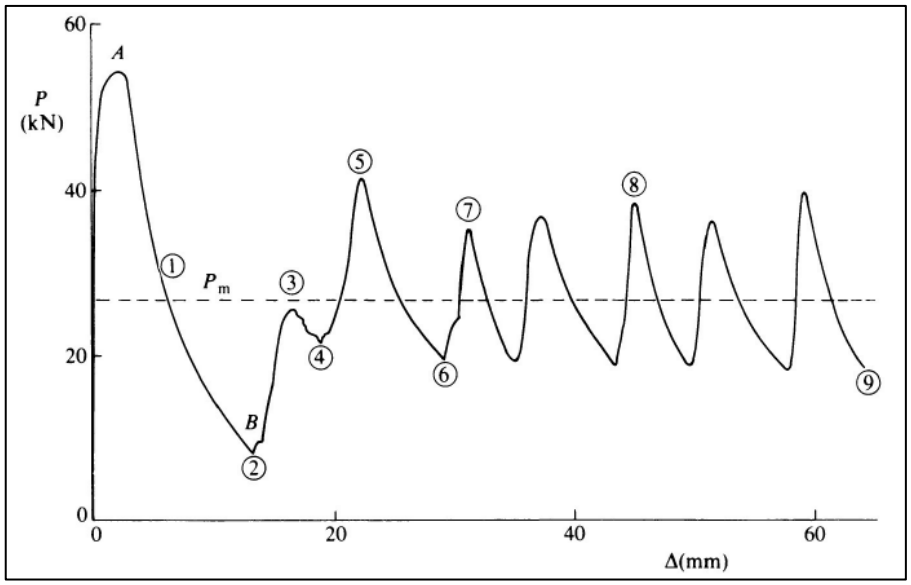
Figura 8 - Modos de flambagem progressiva



Fonte: Autor “adaptado de” Jones, 1997

Para caracterização do comportamento de reação decorrente da flambagem, conforme Figura 9 a seguir, ao sofrer um carregamento compressivo quase-estático, a estrutura entrará em um regime de deformação elástica até atingir o valor de Força Crítica (F_{cr}), representado pelo ponto A. Após isso, por decorrência da instabilidade do material, no ponto B ocorre a primeira dobra estruturas; após isso, sucessivas dobras são desenvolvidas seguindo o mesmo padrão, performando então a absorção da energia do impacto.

Figura 9 - Gráfico de carregamento - Variação de carga estática



Fonte: Jones, 1997

2.4.3 Eficiência da absorção

Conforme retratado por Rodrigues (2019), a energia absorvida (E_a) pela estrutura corresponde à integração da força de resposta ao impacto ao longo do deslocamento, conforme equação Equação 7.

Equação 7 - Energia absorvida pela estrutura

$$E_a = \int_0^{\delta_{máx}} F(\delta) d\delta$$

De mesma forma, a energia absorvida específica (*SEA*), que seria a razão entre a energia absorvida pela massa (m) do veículo em deslocamento, conforme Equação 8 (RODRIGUES, 2019).

Equação 8 - SEA - Energia absorvida específica

$$SEA = \frac{E_a}{m}$$

Posto isso, é possível o cálculo da forma média ($F_{média}$) durante o impacto, sendo caracterizado como a razão entre a Energia absorvida (E_a) e a deformação máxima ($\delta_{máx}$), conforme a Equação 9.(RODRIGUES, 2019)

Equação 9 – Força média de reação ao impacto

$$F_{média} = \frac{E_a}{\delta_{máx}}$$

Ainda destacado por Rodrigues (2019), a eficiência da força de reação ao impacto (*CFE,* do inglês c*rushing force efficiency*) é definido com a razão entre a força média ($F_{média}$) e a força máxima do impacto ($F_{máx}$), conforme Equação 10.

Equação 10 - Eficiência da força de reação ao impacto

$$CFE = \frac{F_{média}}{F_{máx}}$$

Conforme abordado por Baroutaji, Sajjia e Olabi (2017), os principais parâmetros para a performance da estrutura é a Energia específica de absorção (E_a) e a Força máxima ($F_{máx}$), pois o primeiro vai influência na máxima energia absorvida pela estrutura e a segunda influência na desaceleração inicial que aplicada nos ocupantes (que não pode ser elevada a fim de evitar lesões).

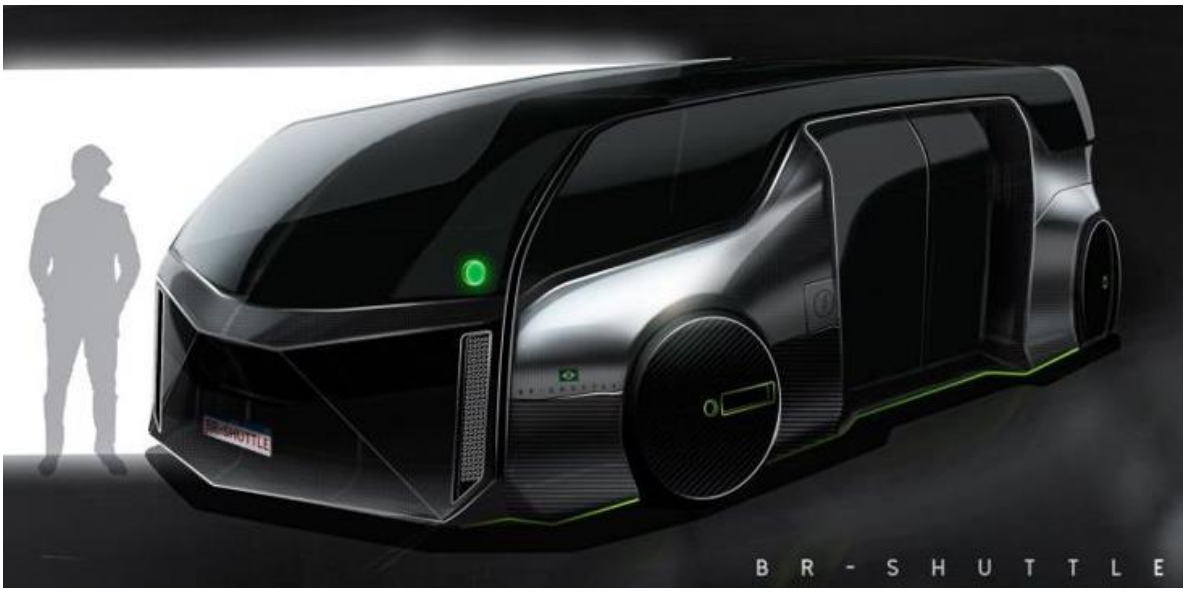
3 DIRETRIZES DO PROJETO

Este é um projeto cuja natureza está no desenvolvimento de um processo iterativo. Uma iteração consiste em uma sequência de assunções e restrições que, uma vez impostas, são testadas, verificadas e adaptadas de maneira cíclica até a convergência do resultado.

A metodologia aplicada partiu do desenvolvimento de diversas ferramentas de gerenciamento de projeto que possibilitaram identificar e compreender o problema proposto para em seguida estabelecer parâmetros concretos que conduzissem à melhor solução possível para o problema.

Como objeto de estudo foi utilizado o projeto BR-Suttle (Figura 10) que trata do desenvolvimento de um veículo elétrico de maneira colaborativa entre universidades. Seu objetivo é acelerar e aperfeiçoar soluções de transporte a fim de melhorar a qualidade de vida nas cidades.

Figura 10 - Representação do conceito BR-Shuttle



Fonte: FEI

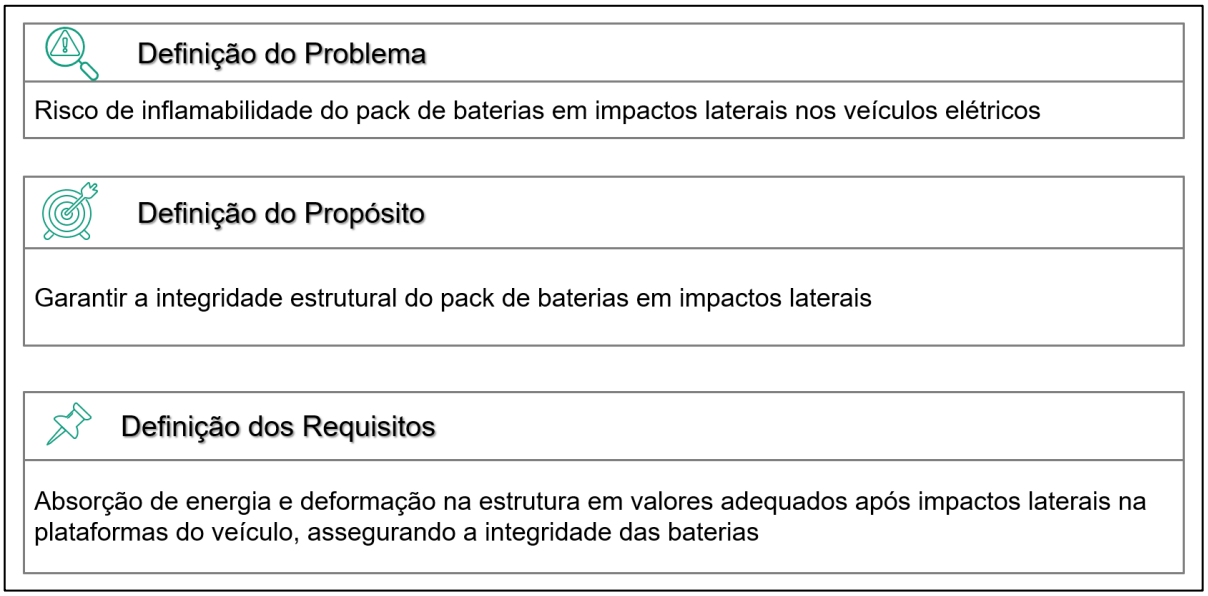
Sua contextualização inicial é apoiada no conceito de "*Last Mile*" que pode ser compreendido como um conceito para atender pequenas distâncias e em baixa velocidade. Sua aplicação está prevista para locomoção em grandes propriedades privadas como condomínios, empresas, aeroportos ou resorts, além da possibilidade de atender bairros que não possuam transporte público disponível. É esperado que se apliquem conceitos como eletrificação total, direção autônoma, inteligência artificial, entre outras tecnologias em ascensão no desenvolvimento deste veículo.

3.1 PROBLEMATIZAÇÃO DO PROJETO

Sendo a eletrificação total uma das premissas do projeto BR-Shuttle e, conforme apresentado no tópico 2.3 do presente trabalho, as baterias de lítio são o principal foco da indústria automotiva devido a melhor combinação entre densidade, capacidade de armazenamento de energia e custo, contudo, sua aplicação requer uma atenção especial em termos de segurança.

O objetivo do projeto é estudar uma plataforma para veículos elétricos que atenda os parâmetros de funcionamento do BR-Shuttle e verificar, através de simulação de elementos finitos, a possibilidade de dano nas baterias após impactos laterais. A Figura 11 busca traduzir este objetivo em termos de definições do problema, propósito e requisitos do projeto.

Figura 11 - Problematização do projeto



Fonte: Autor

3.2 GOLDEN CIRCLE

Idealizado por Simon Sinek no livro “Por quê? como grandes líderes inspiram ação” (2012), o *Golden Circle* (Círculo Dourado) é uma ferramenta que visa estipular uma sequência lógica de raciocínio para se desenvolver uma ideia. Recebe este nome devido à representação visual presente na Figura 12.

Figura 12 - Golden Circle

Fonte: Sinek, 2012

A lógica se baseia na elaboração de respostas para três perguntas, começando pelo "por quê?". Neste campo, deve-se compreender o significado da ação, questionando sobre "Qual é sua causa?"; "Por que a sua ideia existe?"; "Qual é a sua motivação?".

Para o segundo questionamento "como?" busca-se estabelecer os objetivos para alcançar os propósitos do projeto. Enquanto a última pergunta "o que?" define efetivamente a ideia a ser desenvolvida. Desta forma, a Tabela 2 apresenta as respostas elaboradas pelo grupo para a ferramenta "*Golden Circle*".

Tabela 2 - Golden Circle

Por quê?	"Acreditamos que a segurança dos passageiros e dos cidadãos é um quesito primordial para a evolução da mobilidade urbana perante a sociedade."
Como?	"Por meio de análise e simulações das condições críticas de contorno, satisfazendo as demandas de instalação, propriedades dos componentes e garantindo a segurança dos ocupantes do veículo e otimizando o espaço disponível."
O que?	"Solução de plataforma skateboard que viabilize a utilização de baterias de lítio proporcionando segurança."

Fonte: Autor

3.3 AVALIAÇÃO RÁPIDA DE VIABILIDADE

Conhecendo a motivação do projeto, seus requisitos e proposta de solução que se deseja atingir, faz-se necessária uma rápida avaliação de sua viabilidade comercial, de modo a garantir que o desenvolvimento do projeto esteja atento às premissas do mercado.

Para realização desta análise foi desenvolvida a Tabela 3 onde está apresentado o problema que se deseja resolver, os potenciais clientes para o produto, além dos principais atributos que tornam estes clientes dispostos a pagar pela solução proposta.

Tabela 3 - Avaliação rápida de viabilidade

Problema	**Clientes**	**Dispostos a pagar**
• Baixa capacidade de absorção de energia em impactos laterais	• Montadoras • Encarroçadores • Autopeças	• Segurança • Imagem da companhia • Qualidade • Otimização da grandeza capacidade de absorção de energia por real investido na fase de projeto

Fonte: Autor

3.4 BENCHMARKING

Segundo a Fundação Nacional da Qualidade (2015, p. 04), o benchmarking pode ser definido como “método para comparar o desempenho de um processo ou produto com o seu similar, que esteja sendo executado de maneira mais eficaz e eficiente, dentro ou fora da organização, visando entender as razões do desempenho superior, adaptar à realidade da empresa e implementar melhorias significativas”.

O objetivo da realização do benchmarking neste projeto será para avaliar as soluções e estruturas de plataforma presentes atualmente no mercado, identificar seus respectivos pontos positivos e negativos, atribuir um critério para elencar os parâmetros mais importantes e, assim, identificar uma diretriz para a melhor solução do problema.

Para o início do processo de benchmarking, foram separadas quatro categorias como principais para margens de trabalho como possíveis soluções do problema de absorção de energia: alterações nos processos de fabricação, utilização de novos materiais; reavaliação simultânea do conjunto de baterias e do *layout* do veículo; e, por fim, o foco na funcionalidade dos sistemas da plataforma.

3.4.1 Manufatura aditiva

Volpato (2017, p. 16) define a manufatura aditiva como “um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente”.

Entre suas principais vantagens é possível destacar a significativa diminuição do desperdício de matéria prima quando comparado aos tradicionais processos de usinagem (como fresamento, torneamento, retífica, entre outros), uma vez que estes processos são baseados na remoção de material até a peça chegar à forma desejada.

Outra vantagem é a facilidade que este processo possui de chegar em geometrias complexas, as quais em muitos casos podem ser impossíveis de ser fabricadas por outros processos de fabricação.

A manufatura aditiva quando combinada com a tecnologia de materiais tem o potencial de misturar diferentes matérias primas ou mesmo mudar a densidade da matéria prima durante o processamento de modo a criar um produto com diferentes propriedades ao longo da peça (resistências, dureza, porosidade), o que permite se traduzir em redução de peso ou mesmo aumento de absorção de energia do material (Volpato, 2017 p. 25-26).

3.4.2 Estrutura honeycomb

A estrutura *honeycomb* recebe este nome devido ao seu formato similar ao de uma colmeia de abelhas, como é possível observar na Figura 13. Paik, Thayamballi e Kim (1999, p. 207) citam que ligas de alumínio são bastante empregadas neste tipo de construção pois conseguem oferecer uma excelente eficiência estrutural, com alta proporção entre resistência e peso.

Figura 13 - Estrutura honeycomb

Fonte: YUKI, 2013

Quando exigido, sua natureza está na aplicação do conceito de flambagem progressiva, onde após submetido a uma compressão axial apresenta como resposta uma oscilação ou deflexão lateral, conforme detalhado no tópico 2.4.2 do presente trabalho.

Embora este conceito não seja uma novidade, sua presença no mercado passou a ser mais comum nas últimas décadas. Exemplo disso é o BMW i3 que o utiliza como reforço estrutural indicado na Figura 14. Segundo a montadora alemã, esta solução aplicada com alumínio e fibra de carbono superou parcialmente os designs antigos de aço nos testes de colisão internos da BMW (SHAH, 2013).

Figura 14 - Aplicação do honeycomb na BMW i3

Fonte: Shah, 2013

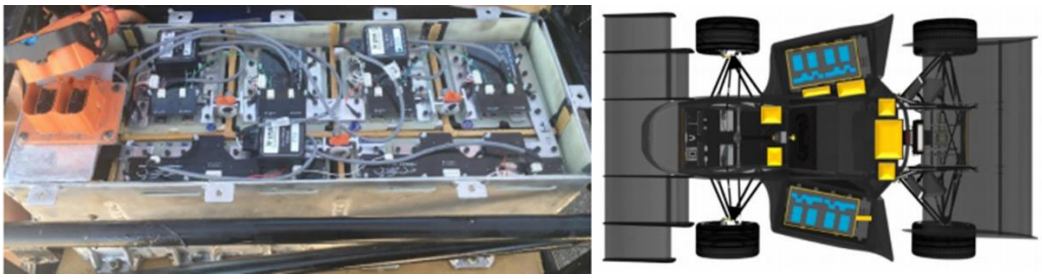
Como ponto negativo é possível destacar a limitação de processos de fabricação para se chegar na estrutura desejada, além de que em caso de impactos nesta estrutura se faz necessário substituir a estrutura completa, refletindo assim em alto custo de reparo.

3.4.3 Container de segurança

Esta solução consiste no desenvolvimento de uma parede adicional envolta das baterias com o objetivo de aumentar a resistência mecânica do sistema e diminuir o risco de dano às baterias diante de possíveis impactos que o veículo possa sofrer.

A Equipe Fórmula FEI (2017) emprega esta solução em seu projeto e reforça a importância de uma análise estrutural para assegurar resistência mecânica suficiente para proteger as baterias. A Figura 15 apresenta uma foto do container utilizado pela equipe e uma representação do local onde é aplicado no veículo.

Figura 15 - Representação do container de seguraça



Fonte: Equipe Fórmula FEI, 2017

A aplicação deste conceito requer uma analogia ao funcionamento da “caixa preta” em aviões, a qual é desenvolvida uma estrutura com material que resista ao impacto da queda de um avião. Entre suas desvantagens é possível citar o aumento de peso que traz ao veículo e a necessidade de uma atenção maior quanto ao arrefecimento das baterias.

3.4.4 Aplicação de fibra de carbono

Segundo Machado (2009) as fibras de carbono são resultado de um tratamento térmico de fibras orgânicas como o poliacrilonitril (PAN) ou com base no alcatrão de derivado do petróleo ou do carvão (PITCH) em um ambiente inerte. Quanto maior a temperatura deste processo, maior será o módulo de elasticidade resultante, podendo variar entre 100 e 300 GPa.

Sua principal vantagem está na extrema leveza devido a baixa densidade (aproximadamente 5 vezes menor que a do aço estrutural). E entre suas desvantagens é possível citar o custo de fabricação devido ao processo, o que impactará também no custo de reparo de componentes que possuem esta aplicação.

Figura 16 - Aplicação da fibra de carbono no modelo Série 7 da BMW

Fonte: STOY, 2015

3.4.5 Combinação de materiais

Tyrrell (2018) descreve como a plataforma para veículos elétricos da Williams, chamada FW-EVX, consegue combinar a utilização da fibra de carbono com o alumínio, uma vez que os canais vazados ilustrados na Figura 17, possibilitam uma solução tanto para o

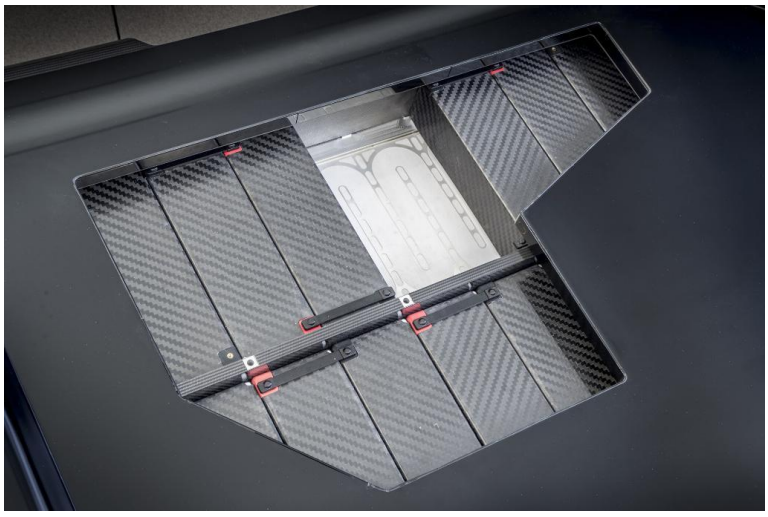
arrefecimento das baterias quanto para aumento da capacidade de absorção de energia com o uso destes materiais e geometria.

Figura 17 - Combinação de fibra de carbono, alumínio e canais vazados no painel lateral da plataforma FW-EVX

Fonte: Tyrrel, 2018

Outra aplicação da fibra de carbono nesta plataforma está na divisão dos módulos das baterias, como indicado na Figura 18. Esta solução implica em um aumento de resistência com baixo impacto no peso.

Figura 18 - Aplicação de fibra de carbono nos módulos das baterias da plataforma FW-EVX



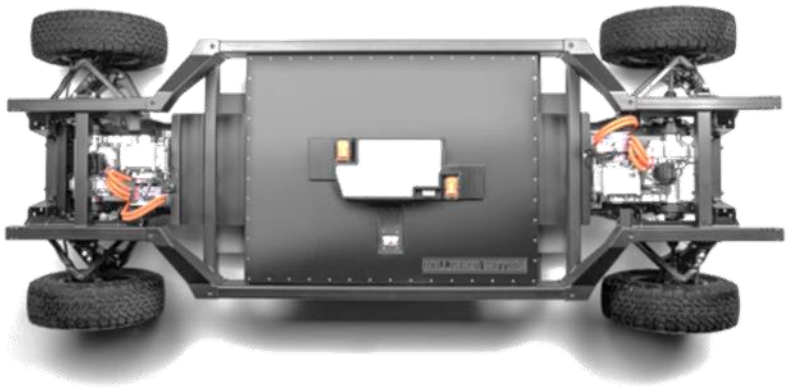
Fonte: Tyrrel, 2018

3.4.6 Chassis com reforços transversais

A utilização de reforços é uma solução comumente observada em veículos comerciais e trazem considerável ganho de resistência lateral e torcional para os veículos. Solução esta que também pode ser aplicada em plataformas *skateboard*, se a adição de peso e perdas de

espaço no *pack* de baterias forem avaliadas. A Figura 19 ilustra uma plataforma de veículo elétrico que emprega este tipo de solução.

Figura 19 - Plataforma com utilização de reforços transversais

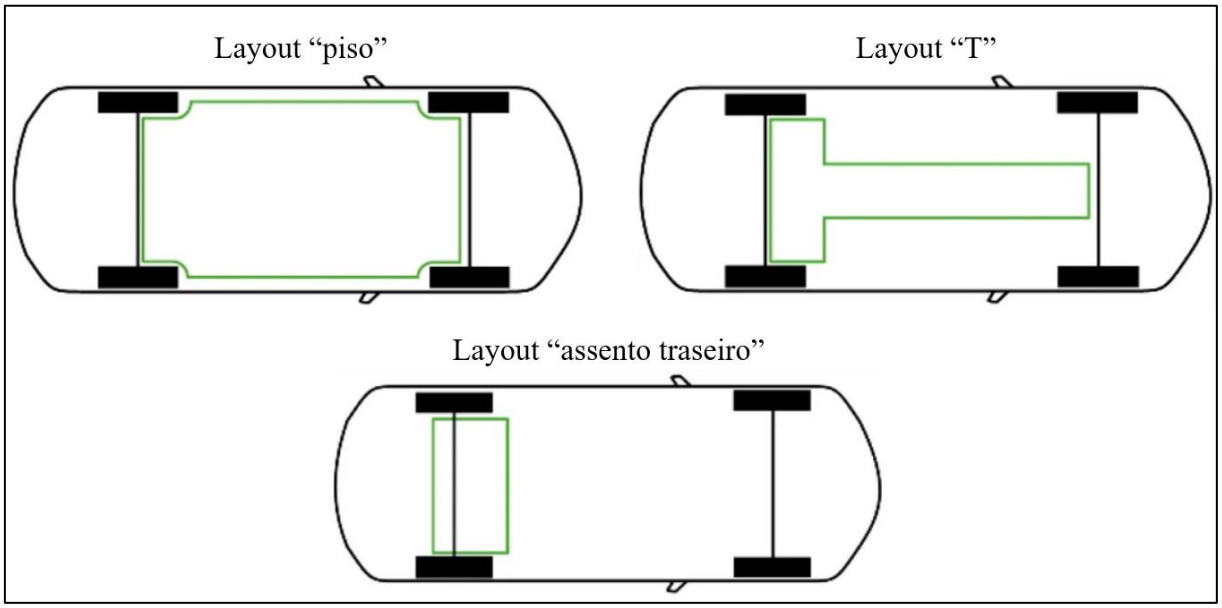


Fonte: CLASS 3, 2021

3.4.7 Disposição das baterias

Setiawan e Salim (2017, p. 588) advertem que a necessidade em percorrer longas distâncias exige um conjunto de baterias maior, e deve ser levado em consideração para o dimensionamento da estrutura que comportará estas baterias. A Figura 20 ilustra os *layouts* mais comuns aplicados pela indústria automotiva atualmente.

Figura 20 - *Layout* das baterias em veículos elétricos



Fonte: Willstrand, Rosengren, 2020, p. 2673-2674

Willstrand e Rosengren (2020, p. 2674) explicam que veículos pequenos ou híbridos, que normalmente requerem menor necessidade de armazenamento de energia, costumam utilizar o *layout* “assento traseiro”.

Considerando a mesma autonomia do conjunto de baterias independente de sua disposição é possível compreender que o *layout* em “T” oferece excelente proteção contra impactos laterais e frontais, mas não é otimizado em termos de conforto e ocupação do espaço interno do veículo, uma vez que se faz necessário ocupar mais espaço vertical em compensação ao espaço lateral não aproveitado. O *layout* “piso” oferece um centro de gravidade inferior e mantém livre o espaço interior do veículo, contudo, sua desvantagem é que sua arquitetura é mais suscetível a danos após impactos laterais (SETIAWAN, SALIM, 2017, p. 588).

3.5 MATRIZ DE DECISÃO DO DESIGN RECOMENDADO

A matriz de decisão é uma ferramenta que auxilia na tomada de decisão no processo de planejamento de projetos. Seu método consiste em estabelecer critérios relevantes para a tomada de decisão, propor uma classificação numerada para avaliar estes critérios e, por fim, extrair uma média das notas.

Com o intuito de tomar a decisão que melhor atenda ao objetivo proposto pelo projeto, foram estabelecidos os critérios: resistência a impactos laterais, rigidez estrutural, altura do centro de gravidade (CG), peso da plataforma, distribuição do conjunto de baterias, arrefecimento do conjunto de baterias, versatilidade de designs (carrocerias) e custo de fabricação.

Ao desenvolver a matriz de decisão inicial, representada na Tabela 4, a preocupação está em comparar todas as soluções identificadas na etapa de benchmarking com as plataformas atualmente presentes no mercado. Nesta etapa, quanto maior a avaliação resultante da solução, melhor ela será em relação às plataformas atuais. Uma avaliação negativa significaria que a solução proposta traria piores condições frente aos critérios estabelecidos.

Tabela 4 - Matriz de decisão inicial

Critério/ Design	**Plataformas atuais**	**Plataforma reforçada**	**Estrutura Honeycomb**	**Container de segurança**	**Aplicação de novos materiais (fibra de carbono e derivados)**	**Manufatura aditiva (impressão 3D)**	**Combinações – Fibra de carbono + Arrefecimento (alumínio) + Container**	**Diferentes formatos do *pack* de baterias**
Resistência a impactos laterais	-	2	2	2	2	2	2	1
Rigidez estrutural	-	2	0	1	2	2	2	0
Altura do CG	-	0	0	0	0	0	0	0
Peso da plataforma	-	-2	1	0	2	1	1	0
Distribuição do conjunto	-	-1	1	1	0	1	0	1

de baterias								
Arrefecimento do conjunto de baterias	-	0	1	-1	1	1	1	-1
Versatilidade de designs (carrocerias)	-	0	0	1	1	1	1	-1
Custo de fabricação	-	-1	-1	-1	-2	-2	-2	0
Custo de reparação	-	0	-1	-1	-2	-2	-2	0
Avaliação	-	0	3	2	4	4	3	0

Classificação	Muito bom	Bom	Neutro	Ruim	Muito ruim
Nota	2	1	0	-1	-2

Fonte: Autor

Como resultado da matriz de decisão inicial é possível notar que as soluções "aplicação de novos materiais (fibra de carbono e derivados)" e "manufatura aditiva (impressão 3D)" foram melhor avaliadas, como continuação, faz-se necessário agora desenvolver uma matriz de decisão final, Tabela 5, afim de garantir que a solução que será empregada será a melhor frente a todas as demais.

Tabela 5 - Matriz de decisão final

Critério/ Design	**Manufatura aditiva (impressão 3D)**	**Plataforma reforçada**	**Estrutura Honeycomb**	**Container de segurança**	**Aplicação de novos materiais (fibra de carbono e derivados)**	**Combinações – Fibra de carbono + Arrefecimento (alumínio) + Container**	**Diferentes formatos do *pack* de baterias**
Resistência a impactos laterais	-	0	-1	0	0	0	0
Rigidez estrutural	-	0	-1	-1	0	0	-2
Altura do CG	-	-1	0	0	0	0	-1
Peso da plataforma	-	-2	0	-1	1	0	0
Distribuição do conjunto de baterias	-	-1	0	-1	0	0	-1
Arrefecimento do conjunto de baterias	-	-1	0	-1	-1	1	-1
Versatilidade de designs (carrocerias)	-	-1	-1	-1	0	1	-1
Custo de fabricação	-	2	1	1	-1	-2	2
Custo de reparação	-	2	1	2	0	-2	2
Avaliação	-	-2	-1	-2	-1	-2	-2

Classificação	Muito bom	Bom	Neutro	Ruim	Muito ruim
Nota	2	1	0	-1	-2

Fonte: Autor

A matriz de decisão final permitiu verificar que quando comparada a manufatura aditiva com as demais soluções todas resultaram em uma avaliação negativa, sendo a estrutura honeycomb e aplicação de novos materiais (fibra de carbono e derivados) as que chegaram mais próximas segundo o critério de avaliação.

Levando em consideração o alto custo deste processo fabricação, custo de reparo e a limitação da produção em série devido ao tempo de fabricação, o grupo optou por aplicar esta solução em um painel na lateral da plataforma adicionando também o conceito de estrutura honeycomb. Desta forma, será avaliada a capacidade deste painel em auxiliar a plataforma na absorção de energia vindas de impactos laterias e, com isso, atender o objetivo de garantir a segurança das baterias.

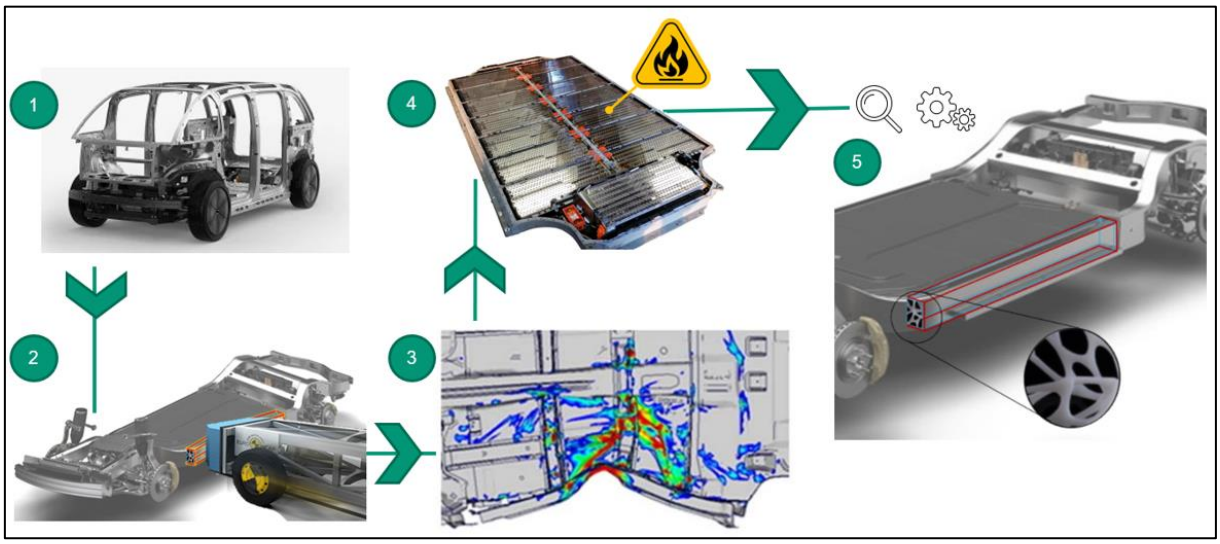
3.6 STORYBOARD

O *Storyboard* (esboço sequencial) é uma ferramenta que auxilia a traduzir de maneira visual a sequência de fatos entre o acontecimento do problema e a solução proposta. Deve ser realizado de maneira objetiva, com o mínimo de passos possíveis, proporcionando fácil compreensão de todas as etapas envolvidas.

A ferramenta auxilia no entendimento do desenvolvimento e de ideação da proposta do design do projeto. Tendo em vista que a plataforma skateboard de um veículo elétrico carrega consigo um *pack* de baterias, surgiu-se a ambição de protegê-la contra impactos com uma solução absorvedora de energia.

Na Figura 21 é apresentado uma sequência de imagens onde mostra-se a concepção do projeto. Inicialmente é referenciado uma carroceria de um veículo elétrico, em seguida apenas sua plataforma skateboard sofrendo uma colisão lateral através de uma demonstração de crash test. Após a colisão o próximo passo é uma análise de deformação e tensão no sistema para verificar se houve de fato a proteção do *pack* de baterias para não haver riscos de inflamabilidade. Por fim, a última imagem representa um painel lateral com estrutura *honeycomb*, que faz parte da solução proposta para garantir a segurança das baterias.

Figura 21 - Storyboard



Fonte: Autor “adaptado de” Canoo, 2020; Radu, 2020; Bower, 2018; Sangwook, 2013

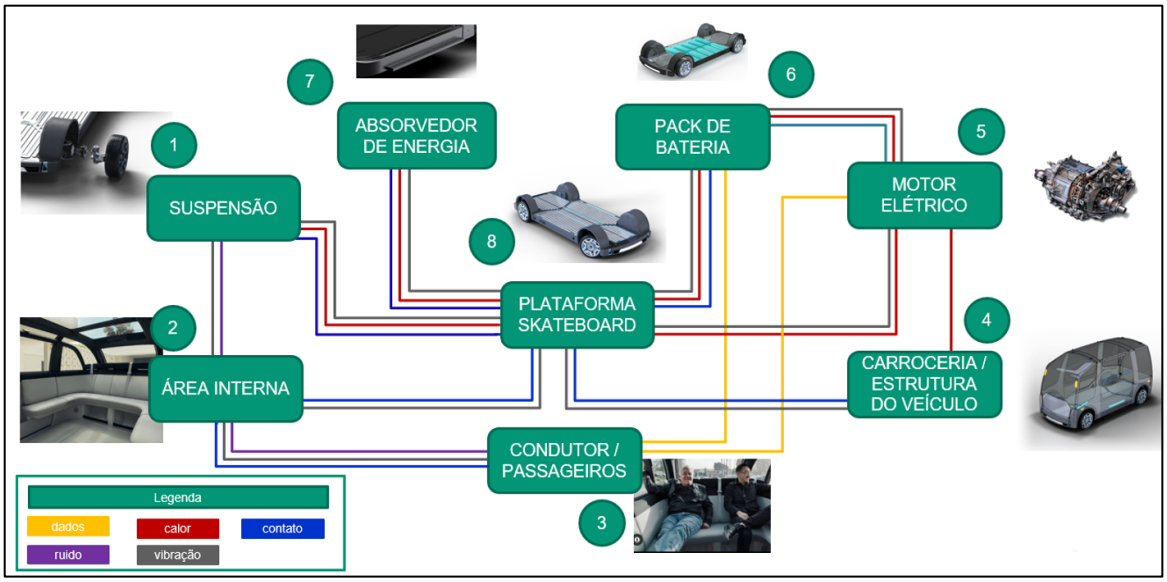
3.7 BOUNDARY DIAGRAM

O Boundary Diagram (diagrama de fronteira) tem como função ilustrar de forma visual como os componentes, conjuntos e sistemas interagem entre si e mapear o que está a sua volta. Está ferramenta é utilizada para analisar como os elementos se conectam e levantar hipóteses de como eles podem se relacionar.

O ponto de partida é identificar os principais elementos que fazem interface com a plataforma skateboard, que neste caso seriam suspensão, *pack* de baterias, motor elétrico, carroceria, área interna, painel lateral absorvedor de energia, condutor e passageiros.

Após conhecer os elementos que fazem fronteira, é feito a ilustração de como eles interagem entre si utilizando os seguintes parâmetros, conforme Figura 22. As conexões dos elementos realizados por dados são representadas em amarelo, por ruido em roxo, por calor em vermelho, por vibração em cinza e por contato em azul.

Figura 22 - Boundary Diagram



Fonte: Autor “adaptado de” Eideh, 2019; Canoo, 2020; E-shuttle, 2021; Mid-mile, 2021; Radu, 2020

3.8 ENGENHARIA REVERSA

A engenharia reversa é o processo de análise de um projeto a partir da identificação de todos os componentes que compõem a estrutura, buscando facilitar o entendimento dos princípios tecnológicos e de funcionamento. De modo geral, essa ferramenta consiste na desmontagem da estrutura em componentes unitários identificando a arquitetura do projeto.

Para o projeto em questão, foi considerada a estimativa de massa, as principais características de cada componente, seus materiais, processos de fabricação e fornecedores para cada componente da Plataforma *Safeboard* e assim desenvolver a Tabela 6. Nesta etapa, é possível observar o painel lateral como componente diferencial do projeto, com o objetivo de contribuir para a absorção dos impactos e produzido a partir da manufatura aditiva.

Tabela 6 - Engenharia reversa

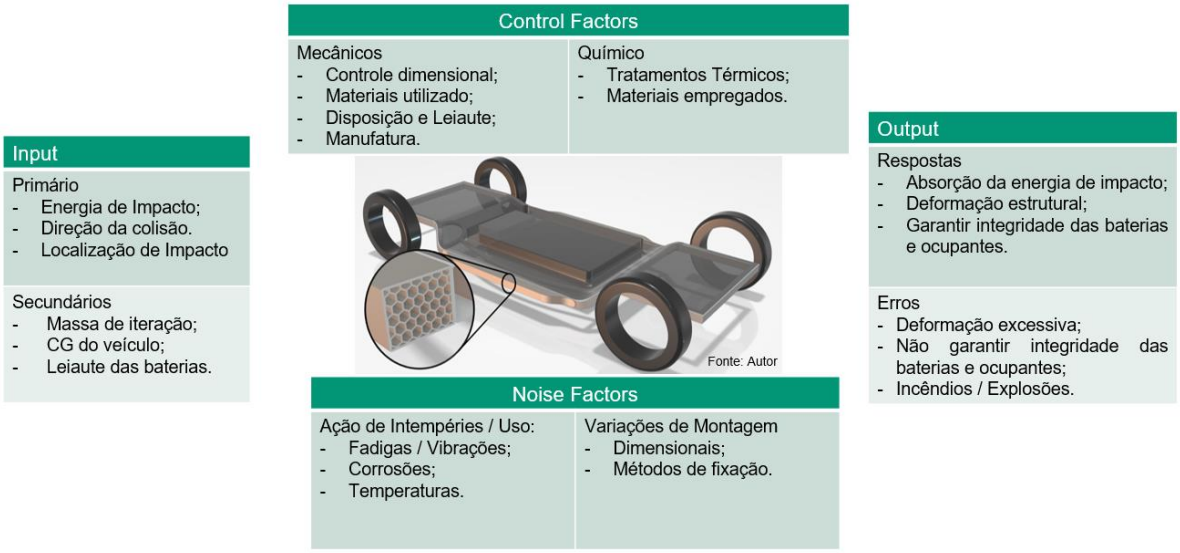
Sistema:		**Plataforma Skateboard**			
COMPONENTES		**FRAME DA PLATAFORMA**	**PACK DE BATERIAS**	**FRAME DAS BATERIAS**	**PAINEL LATERAL**
Massa	kg	~ 300	~ 200	~ 100	~ 50
Principais Características	#	Estrutura de longarinas e barras	Capacidade energética (kWh)	Fixação do pack de baterias	Absorção de impactos
Material	#	Aço	Lítio	Aço	Alumínio
Processo de Fabricação	#	Puncionadas ou produzidas em prensas	-	Dobramento e Soldagem	Manufatura Aditiva
Fornecedores	#	EBTECH	Melasta	EBTECH	3BE

Fonte: Autor

3.9 P-DIAGRAM

O *P-Diagram* (diagrama P) é a abreviação para diagrama de parâmetros sendo uma das técnicas utilizadas para desenvolvimento do DFMEA. Esta metodologia é de grande importância para analisar como a projeto pode vir a falhar e evitar que isso ocorra. Para isso demonstra-se na Figura 23 tanto os dados de entrada e saída, quanto fatores controláveis e fatores não controláveis do sistema.

Figura 23 - P-Diagram



Fonte: Autor

Para o projeto de absorção de energia, os dados de entrada se dividem em primários e secundários. Os primários são a direção da colisão, a energia e localização do impacto.Os secundários são a massa de iteração, o centro de gravidade do veículo e o leiaute das baterias. Para dados de saída, as respostas são a absorção de energia de impacto, a deformação estrutural e a garantia da integridade das baterias e ocupantes, porém pode haver erros como deformação excessiva, falha na proteção do *pack* de baterias e possíveis incêndios e explosões.

Os fatores de controle para o projeto foram divididos em mecânicos e químicos. Os mecânicos se atentando ao controle dimensional, material utilizado, manufatura, disposição e leiaute; já os quimicos em tratamentos térmicos e na seleção de materiais empregados.

Para fatores não controláveis foi atribuído ações de interpéries e uso, como corrosões e fadiga dos materiais, vibrações mecânicas e exposição a temperaturas. Sendo possivel encontrar fatores não controláveis nas variações de montagem, como diferenças dimensionais e métodos de fixação.

3.10 ANÁLISE DE VALOR

A análise de valor é uma metologia que permite fazer a exploração dos conceitos e arquiteturas do projeto. O ponto de partida é realizar a divisão do sistema em seus principais componentes, identificando suas respectivas funções. Na sequencia as funções são classificadas de maneira qualitativa, como função Básica ou Secundária; Relevante, Irrelevante ou Indesejado; Uso ou Estética.

Para o projeto *Safeboard* os principais componentes foram frame da plataforma, *pack* de baterias, frame das baterias e painel lateral. Na Tabela 7 tais componentes estão sendo reprentados seguido de suas respectivas funções. Na Tabela 8 as classificações das funções estão sendo representadas.

Tabela 7 - Funções dos componentes

Componente	**Função**
Frame da plataforma	Estrturar conjunto Adaptar carrocerias
Pack de baterias	Unificar baterias Distribuição das baterias Aumentar temperatura
Frame das baterias	Fixação *pack* Proteção *pack* Segurança térmica Proteção contra corrosão Proteção inferior Controle de umidade Absorver impactos
Painel lateral	Absorver impactos Arrefecimento do *pack*

Fonte: Autor

Tabela 8 - Classificações das funções

Função	**P / S**	**+ / 0 / -**	**U / E**
Estrturar conjunto	S	+	U
Adaptar carrocerias	S	0	E

Unificar baterias	S	0	U
Distribuição das baterias	S	0	U
Aumentar temperatura	S	0	U
Fixação *pack*	S	0	U
Proteção *pack*	P	+	U
Segurança térmica	S	+	U
Proteção contra corrosão	S	0	U
Proteção inferior	S	0	U
Controle de umidade	S	0	U
Absorver impactos	S	0	U
Absorver impactos	P	+	U
Arrefecimento do *pack*	S	0	U

Fonte: Autor

Sendo, B/S = Básica ou Secundária; +/0/- = Relevante, Irrelevante ou Indesejado; U/E Uso ou Estética.

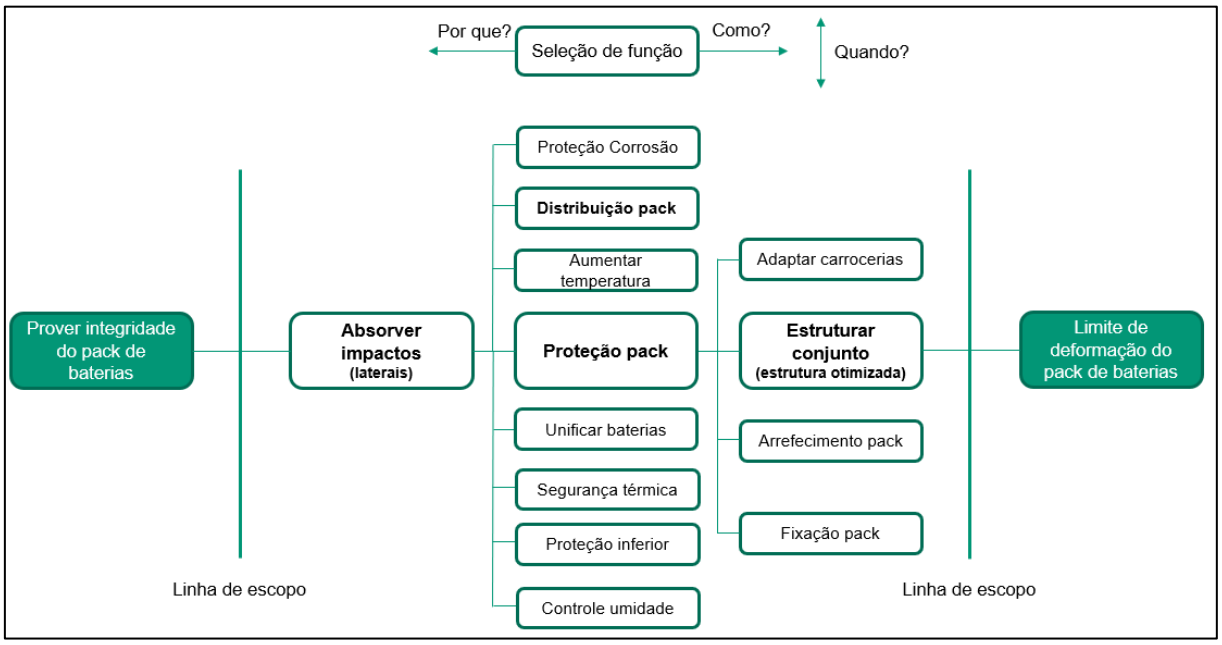
3.11 ANÁLISE FUNCIONAL (FAST)

A ferramenta FAST – *Functional Analysis System Tree* (árvore sistêmica de análise funcional) possibilita representar o produto através das suas principais funções visualizando de forma lógica suas relações.

Definindo as linhas que limitam o escopo de análise, identificou-se o caminho crítico e as conexões entre função principal e funções secundárias. Perguntando “Por que” para a esquerda, ”Como?” para a direita e “Quando?” para cima e para baixo.

As linhas de escopo definidas foram baseadas entre “Prover integridade do *pack* de baterias” e “Limite de deformação do *pack* de baterias”. Sendo o caminho crítico identificado como “Absorver impactos”, “Proteção *pack*”, “Estruturar conjunto”. Conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Análise Funcional (Fast)



Fonte: Autor

3.12 DFMEA – DESIGN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS

O conceito da ferramenta DFMEA consiste em prevenção de falhas e análise de risco baseando-se no reconhecimento de causas e efeitos assim podendo identificar ações para inibir essas falhas.

A ferramenta sistemisa um determinado grupo de atividades/componetes para detectar potenciais falhas e avaliar os efeitos das mesmas no processo e/ou projeto.

Para implementar a ferramente é preciso envolver uma equipe multidisciplinar, segurança, operação, meio ambiente, técnicos e engenheiros, todos alinhados com as definições e necessidades.

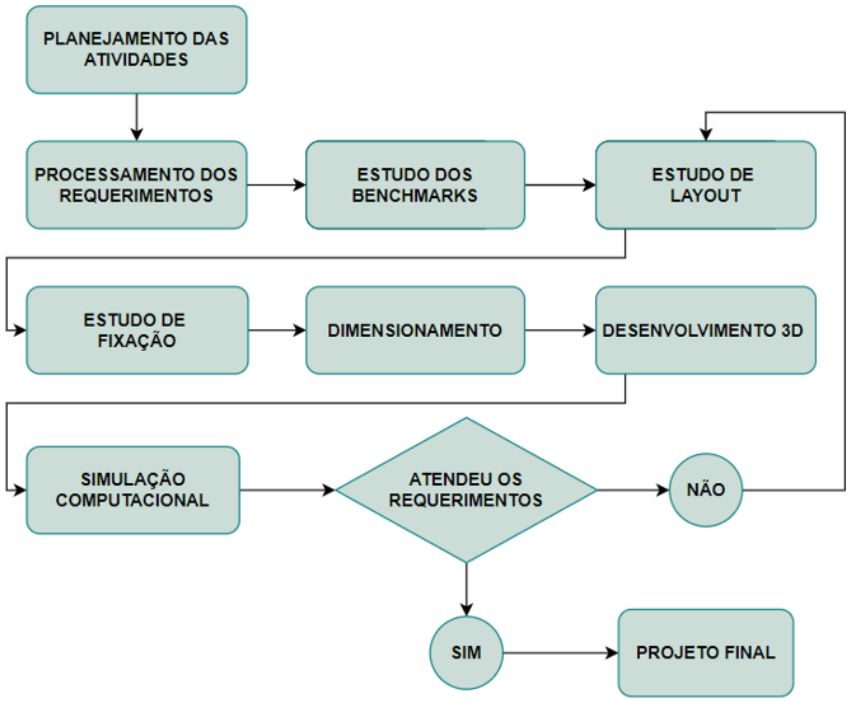
O objetivo final é antecipar as falhas, desde as mais leves até as mais graves, colocando-as em uma hierarquia de risco, possibilitando uma melhor estratégia de projeto ou manutenção, trazendo assim maior confiabilidade em toda a cadeia do produto ou projeto. Uma cópia desta ferramenta desenvolvida pelo grupo pode ser encontrada no ANEXO E - DFMEA.

3.13 FLUXOGRAMA DE MELHORIAS (VITOR/DIRANI)

O fluxograma de melhorias, exemplificado na Figura 25, possui como principal objetivo mostrar o panorama de todo o processo de criação do projeto e verificar a viabilidade das soluções propostas ao decorrer das atividades, foi desenhado as linhas de fluxo desde o

planejamento até as execução das atividades (estudos, dimensionamentos, desenvolvimentos e soluções).

Figura 25 - Fluxograma de melhoria



Fonte: Autor

3.14 PLANEJAMENTO

Considerando o desenvolvimento do projeto com a ótica de uma empresa, a utilização do CANVAS no planejamento do projeto nos fez pensar graficamente diante de um problema, para inovar, desenhar e criar novas soluções de um produto ou negócio, essa ferramenta também promove a criação de um modelo de negócio capaz de causar resultados de impacto, sendo assim harmônicos no ambiente da gestão empresarial, cada qual com a sua função e estrutura.

3.14.1 Business canvas

O Business Model Canvas, proposto por Alexander Osterwalder, é uma ferramenta que tem por objetivo criar e descrever o modelo de negócio, numa linguagem simples e comum, que quando implantado é capaz de agregar valor para o cliente e gerar resultados. Ao contrário do tradicional plano de negócios que contempla diversas análises como estratégia, marketing, finanças e recursos de um novo negócio, o Canvas é capaz de traduzir as ideias e propostas do negócio em um diagrama simples e lógico que contempla nove áreas: proposta

de valor, segmentos de clientes, canais, relacionamento com cliente, fontes de receitas, recursos-chave, atividades-chave, parceiros-chave e estrutura de custos.

O Business Model Canvas auxilia desenvolver o pensamento sobre as respostas dessas perguntas e ordená-las de forma lógica num diagrama prático, para analisar a viabilidade, testar, divulgar e implantar o modelo de negócio proposto. O Canvas é focado no mapa de proposta de valor, para resolver os problemas dos clientes, garantir a satisfação e resultados.

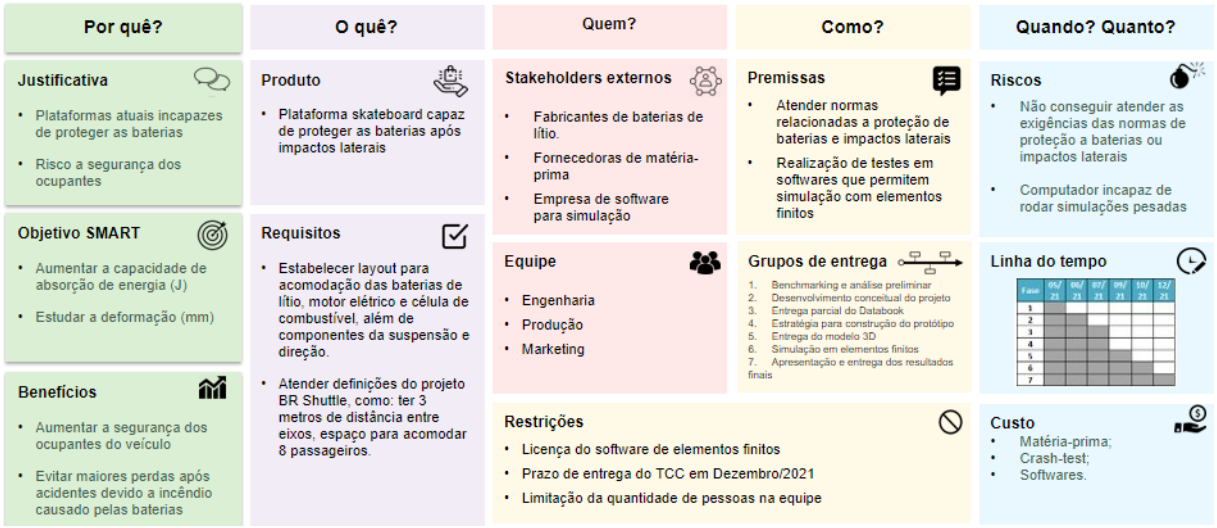
Figura 26 - Business canvas

Fonte: Autor

3.14.2 Project canvas

O Project Model Canvas permite a criação do plano do projeto com participação e engajamento da equipe e principais stakeholders, e pode ser aplicado a qualquer projeto. O seu diagrama lógico está estruturado em 13 áreas: stakeholders, equipe, premissas, riscos, grupo de entregas, linha do tempo, restrições, custos, requisitos, produtos, justificativas, objetivos (SMART) e benefícios do projeto, monstrado na Figura 27.

Figura 27 - Projetc canvas



Fonte: Autor

3.14.3 Cronograma

Para auxiliar no desenvolvimento do projeto, foi estruturado um cronograma de dois semestres com quatro entregas principais, nos meses de abril, junho, agosto e novembro. Como ilustrado na Figura 28, no primeiro semestre introduziu-se as principais ferramentas de engenharia que, a partir da definição do tema, foi planejado as estratégias e desenvolvimentos necessários para o semestre seguinte, que basicamente foi o processo de execução das atividades de simulações a fim de verificar e validar a viabilidade da solução proposta.

Figura 28 - Cronograma

Entrega	Fase	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1ª Prévia	Definição do tema	■	■									
	Benchmarking e análise preliminar		■	■								
2ª Prévia	Desenvolvimento conceitual do projeto				■	■						
3ª Prévia A	Entrega parcial do Databook						■	■				
	Estratégia para construção do protótipo						■	■				
3ª Prévia B	Desenvolvimento e simulação do modelo 3D							■	■			
	Refinamento do modelo 3D							■	■			
4ª Prévia	Desenvolvimento e simulação do modelo 3D									■	■	
	Estimativa de custo									■	■	
	Simulação em elementos finitos									■	■	
	Entrega final Databook									■	■	
Final	Apresentação do protótipo - ExpoMecAut											■

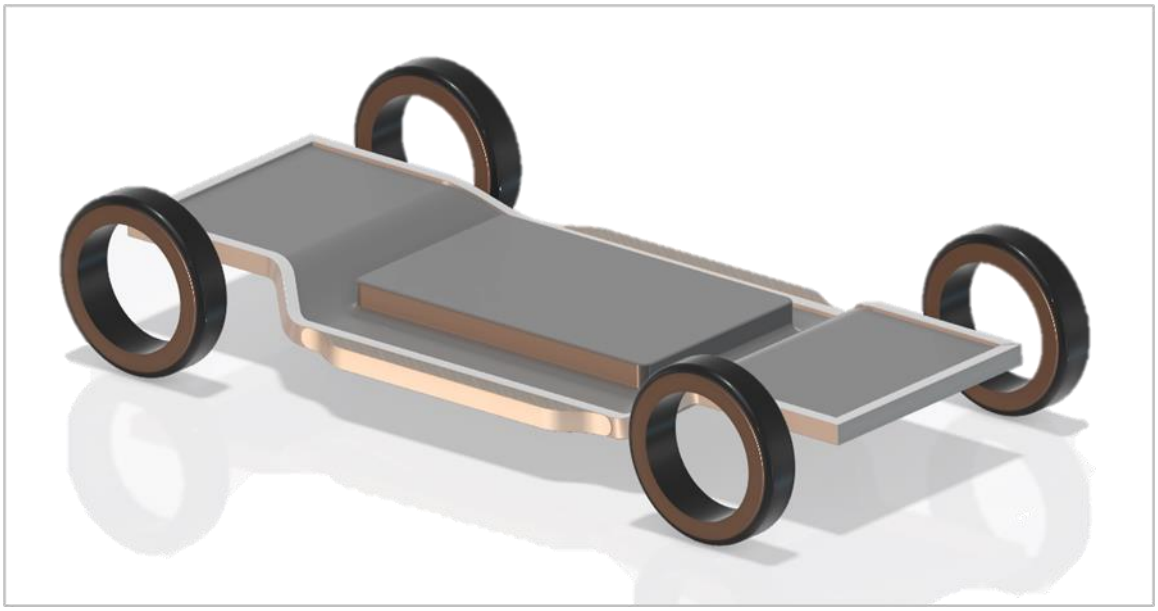
Fonte: Autor

4 DESENVOLVIMENTO

Para o estudo de absorção de energia em uma plataforma, foi necessário definir parâmetros para esboçar uma estrutura adequada. Desse modo, realizou-se benchmarkings de veículos e plataformas similares aos do objeto de estudo, a fim de definir as dimensões e o *layout* da plataforma.

Na Figura 29, é possível observar a proposta do conceito final desenvolvido pelo grupo para a realização do estudo. Nesse modelo, foi proposto soluções adequadas para a aplicação e análise realizada pelo grupo, porém, além das soluções que estão sendo explicadas ao decorrer do tópico 4, nessa representação foram incluídos o encapsulamento superior do sistema e a representação demonstrativas dos pneus.

Figura 29 - Conceito Final



Fonte: Autor

Na Figura 9 podem ser observados a partir dos parâmetros estabelecidos, os valores que foram selecionados após realizar o estudo das dimensões adequadas para a estrutura.

Tabela 9 - Definição dos Parâmetros Iniciais

Parâmetro	Valor	Unidade
a) Carga máxima c/ ocupantes	2875	kg
b) Velocidade máxima	50	km/h
c) Número de ocupantes	8	
d) Potência requirida	184	cv
e) Dimensões veiculo		
– Entre eixos	3200	mm
– Largura	1920	mm
– Comprimento	4000	mm
f) Conjunto de suspensões		
– Dianteira	Suspensão tipo McPherson e dianteira com barra estabilizadora, roda tipo independente e molas helicoidal.	
– Traseira	Suspensão tipo trailing arm, roda tipo independente e molas helicoidal.	

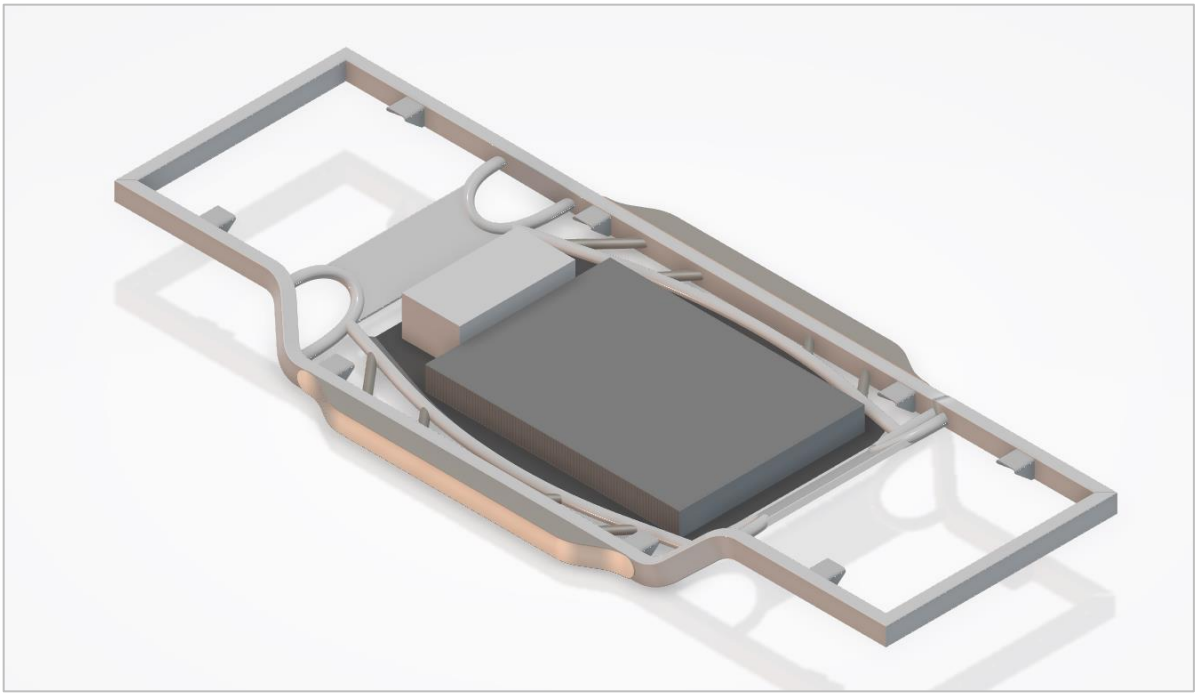
Fonte: Autor

Para a definição do *layout*, partiu-se do princípio de que em impactos laterais o *pack* de baterias necessita estar bem protegido. Com isso, foi aplicada a estratégia de adicionar uma peça na lateral de uma plataforma skateboard com intuito de que essa peça absorva boa parte da energia de colisões laterais. No restante da base da plataforma, esboçou-se um conceito a fim de direcionar o restante da energia de impactos laterais à uma peça mais resistente.

4.1 PLATAFORMA SKATEBOARD

A motivação do estudo parte da necessidade de se proteger o *pack* de baterias em colisões laterais e com isso, torna-se necessário compreender o comportamento do fluxo de distribuição de energia na estrutura após um impacto. Sendo assim, é necessário estabelecer o *layout* de referência e após o estudo de benchmarkings, avaliação das baterias e refinamentos com base em simulações preliminares, chegando na proposta que pode ser vista na Figura 30.

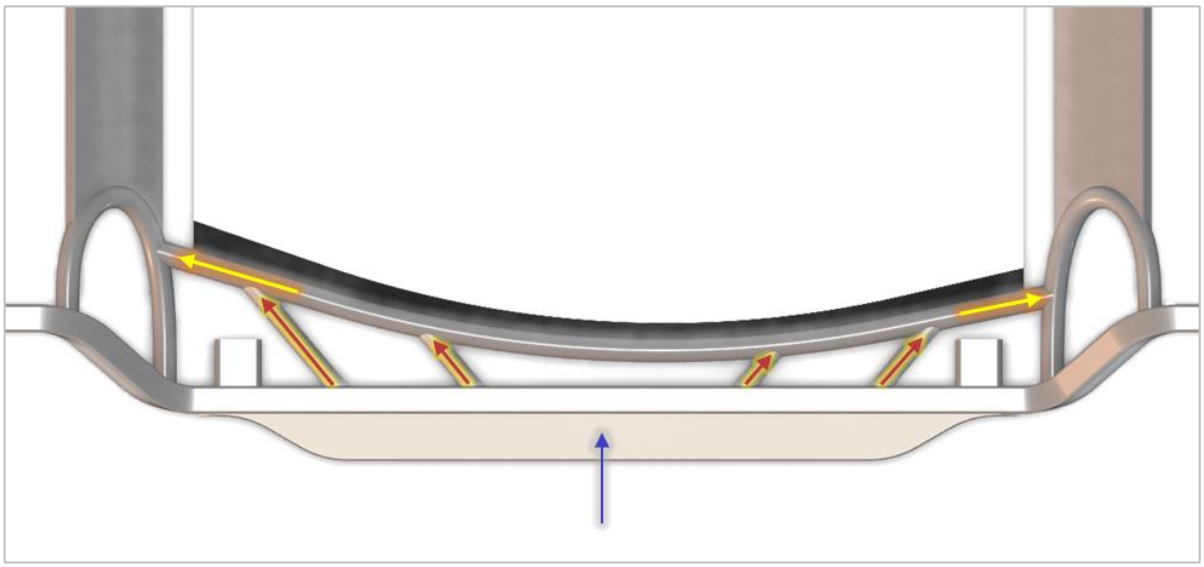
Figura 30 - Plataforma de Estudo



Fonte: Autor

A plataforma desenvolvida se baseia em dissipar a energia dos impactos laterais e foi estruturada de modo que as baterias fiquem protegidas . Na Figura 31, é possível observar as linhas de absorção de energia em impactos laterais na plataforma.

Figura 31 - Linhas de Dissipação de Energia

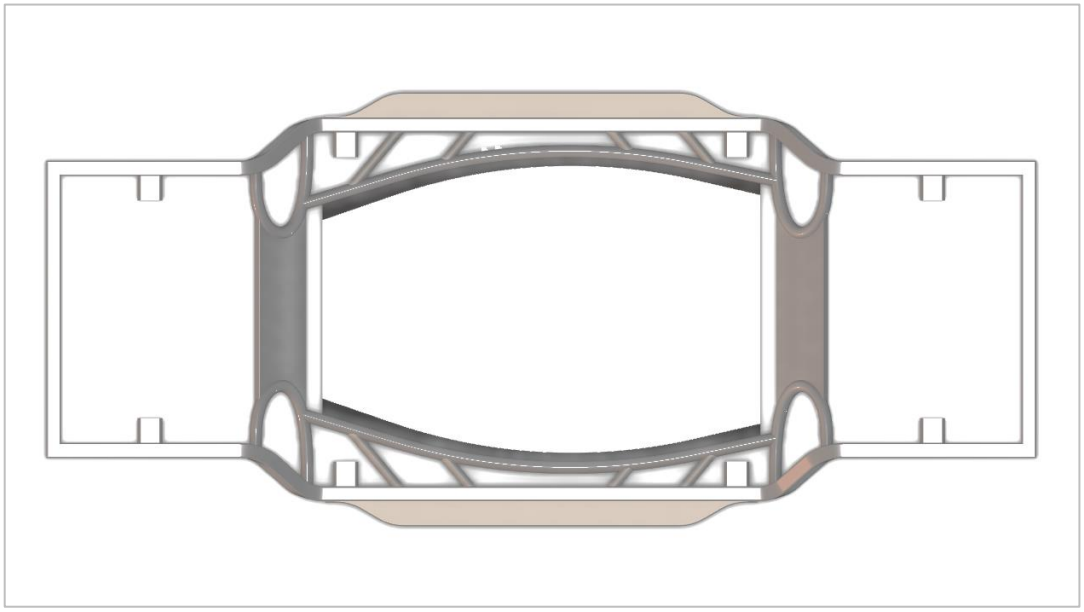


Fonte: Autor

4.2 COMPONENTES DA PLATAFORMA

Na idealização dos componentes, buscou-se uma solução inovadora mas que conta com perfís e conceitos utilizados na indústria atualmente. A plataforma foi dividida em 6 conjuntos principais: Barras Transversais, Barras Laterais, Suportes em X, Barras Suporte, Barras Base e Painéis Laterais. Uma vez que o foco principal foi definido como o estudo da absorção de energia do painel lateral, estipulou-se que não seria necessário o detalhamento de juntas entre os componentes do chassis. Desse modo, desenvolveu-se o conceito de modo que fosse possível sua verificação através de simulações. Na Figura 32 pode ser observada a estrutura da plataforma de estudo desenvolvida.

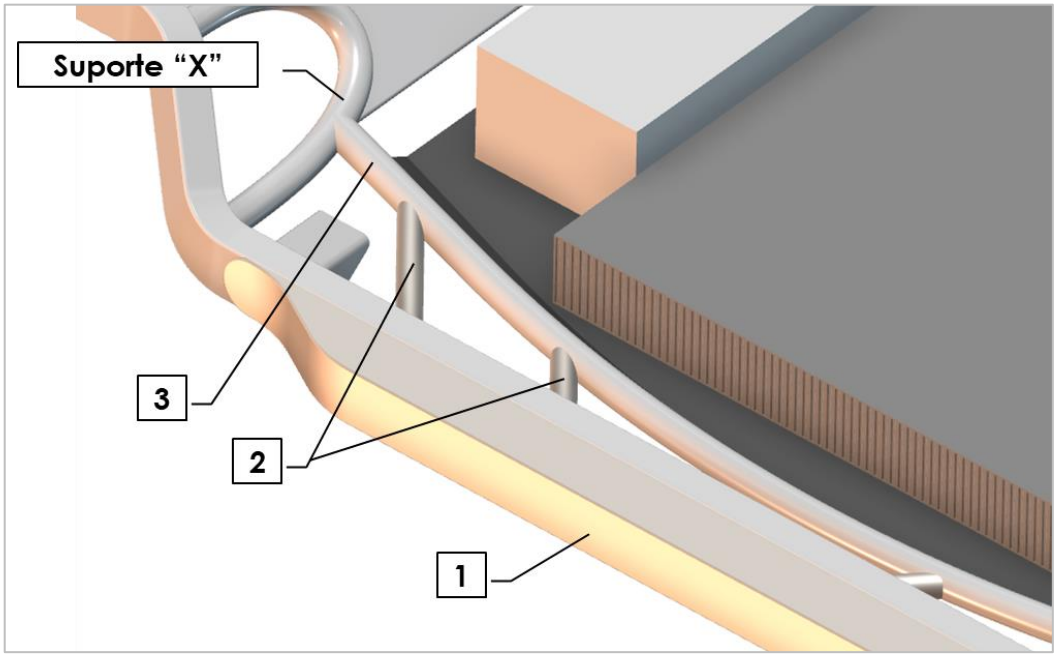
Figura 32 - Vista Superior da Plataforma



Fonte: Autor

A Figura 33 demonstra que em colisões laterais, a energia do impacto é parcialmente absorvida pelo painel lateral (1), é então direcionada para as longarinas principais e assim transferidas para as barras suporte (2), a linha de carregamento então segue para as barras base (3), as quais direcionam o restante da energia para os suportes X. Durante todo o percurso, a absorção da energia presente na linha de fluxo é realizada pela deformação dos componentes integrantes desse sistema.

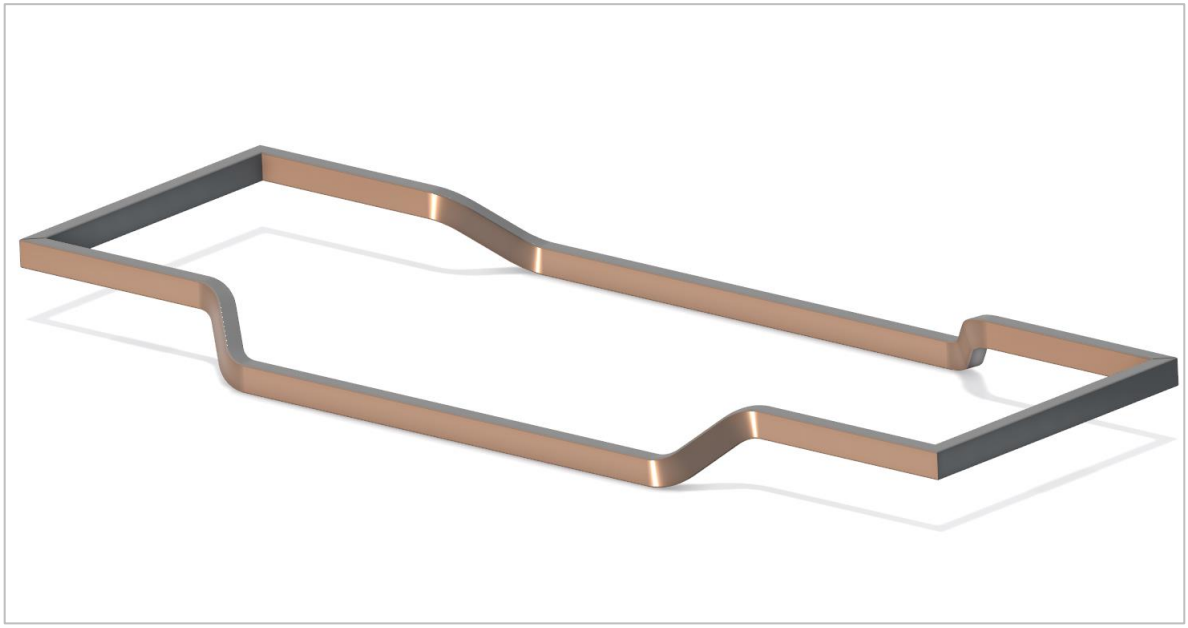
Figura 33 - Componentes de Absorção Energia de Impactos Laterais



Fonte: Autor

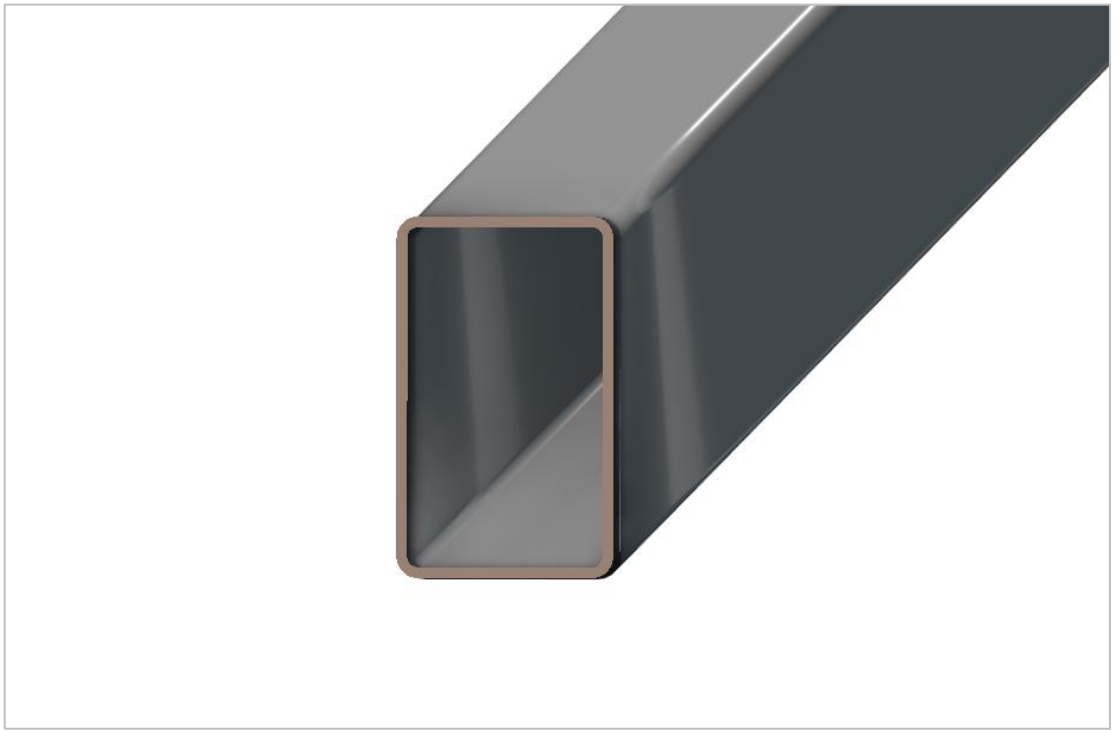
As barras laterais e transversais, representada na Figura 34 e na Figura 35, são as barras externas que juntas formam o frame da plataforma. Especificadas com aço de alta resistência, possuem um perfil de 60mm de largura, 100mm de altura e 3mm de espessura. As barras laterais, possuem além da função estrutural e de fixação, papel importante na distribuição e absorção das cargas.

Figura 34 - Barras Laterais e Transversais



Fonte: Autor

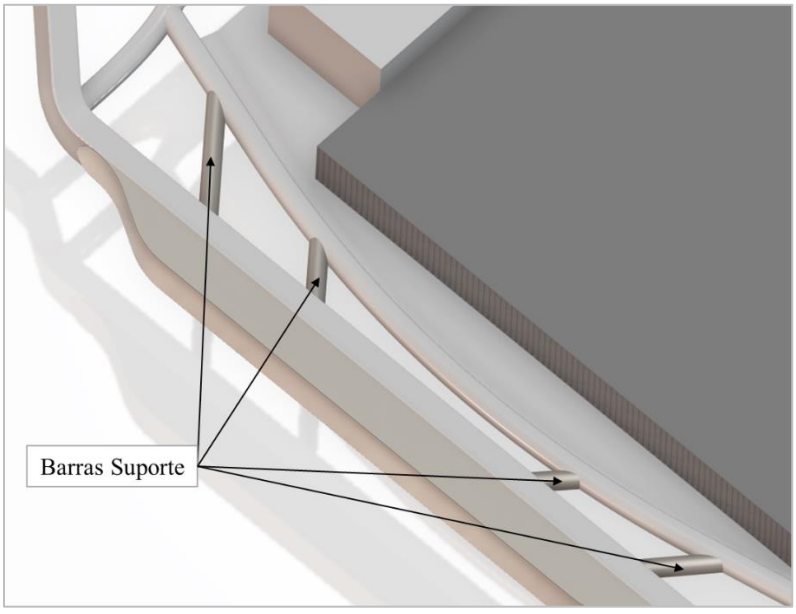
Figura 35 - Perfil das Barras



Fonte: Autor

Na Figura 36, estão representadas as barras suporte, que são elementos de resistência inferior às barras laterais e barra base, com o intuito de que caso haja um impacto cuja energia ultrapasse o painel lateral, essas barras possam transmitir a energia para a barra longitudinal (base) ou se deformar para dissipar a energia e não carregá-la em direção ao centro do veículo.

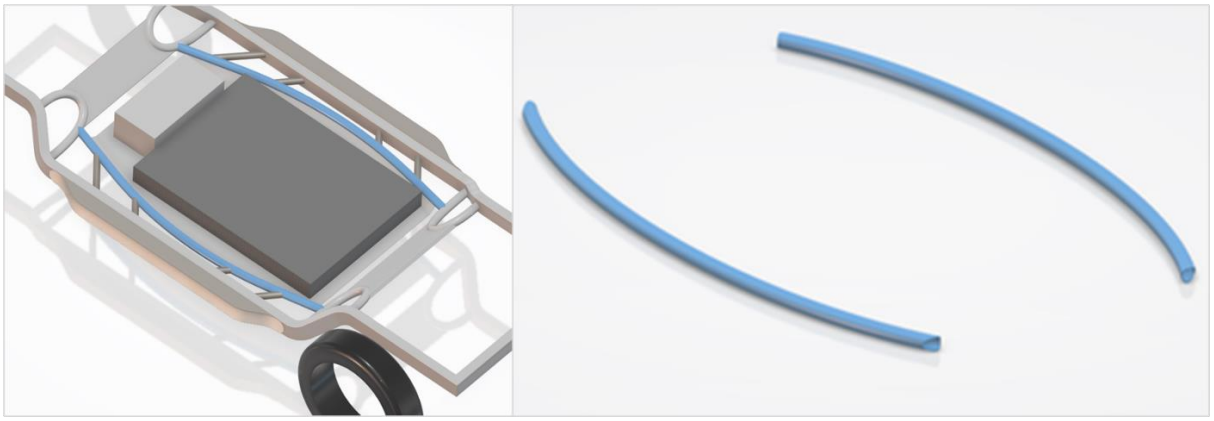
Figura 36 - Barras Suporte



Fonte: Autor

Além das barras do frame externo e das barras suporte, um dos elementos principais do chassis são as barras base. As barras base, representadas na Figura 37, possuem como função a sustentação e conexão de diversos componentes da plataforma, além de atuarem de maneira importante no direcionamento da energia remanescente das barras suporte para os suportes x.

Figura 37 - Barras Base



Fonte: Autor

Outro elemento crucial no desenvolvimento, são os Suportes X. Representado na Figura 38, o Suporte X é o componente mais rígido do chassis e possui importante função na estruturação e no aumento da rigidez torcional.

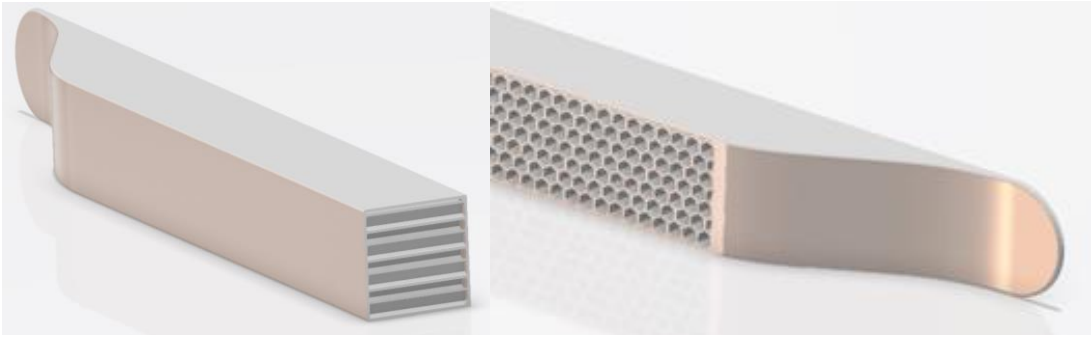
Figura 38 - Suporte X

Fonte: Autor

4.3 PAINEL LATERAL

Conforme escopo de projeto, a principal função do painel lateral é absorver, totalmente ou parcialmente, a energia decorrente do impacto da colisão através de sua deformação plástica. Para executar tal função, será empregado neste presente projeto a estrutura denominada o *Honeycomb*, por apresentar elevada capacidade absorção de energia e resistência mecânica, atrelado ao baixo peso (BITZER, 1997), dentro de uma estrutura lateral.

Figura 39 - Proposta de absorvedor



Fonte:Autor.

Apesar do tempo de existência do *Honeycomb*, a aplicação voltada para a absorção de impacto como função primária é recente e complexa, sendo principalmente abordada em pesquisas e estudos de pós-graduação. O maior desafio está nas diversas maneiras de deformação, a necessidade de alto recursos computacionais, para a simulação da estrutura e a realização de diversos protótipos e testes, a fim de estabelecer as melhores propriedades e comportamento para a devida aplicação.

O principal objetivo deste tópico é mapear as variáveis que influenciam na capacidade de absorção de energia de uma estrutura *Honeycomb* bem como apresentar uma dimensão pré-estudada, como proposta de resolução, não sendo otimizada para a aplicação.

Em um estudo de absorção de energia e colisão de veículo de transporte, deseja-se que a estrutura seja capaz receber o impacto sem oferecer risco a integridade dos ocupantos. Para isso, deseja-se que a estrutura seja capaz de absorver o máximo de energia possível; os principais fatores que influenciam a performance é o energia específica absorvida (SEA) e a força máxima de impacto ($F_{máx}$).

Segundo Rodrigues (2019), as principais variáveis que afetam o sistema podem ser elecadas abaixo:

- σ_y – Tensão de escoamento do material;

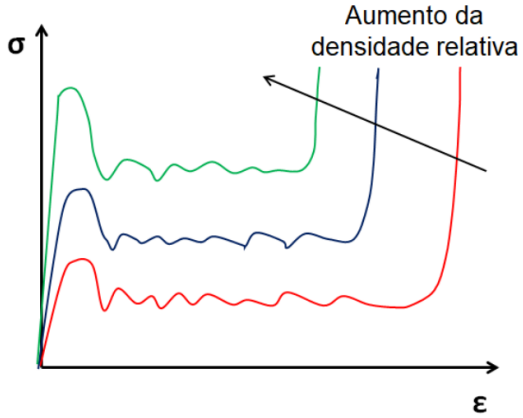
- t – Espessura da parede da célula honeycomb;
- l – Tamanho da célula honeycomb;
- ν – Coeficiênte de Poisson do material;
- E – Módulo de elasticidade do material;
- Et – Módulo de encruamento do material.
- V – Velocidade de impacto

Ainda no assunto, Rodrigues (2019) estabelece o grau de influência das variáveis com a SEA, pois determina a capacidade máxima de absorção; seguindo a correlação de variáveis: $\sigma_y > t > \nu > E > Et$.

Também, conforme mencionado anteriormente, outro fator de grande importância é a força máxima durante impacto ($F_{máx}$), pois seu módulo influencia diretamente na reação dos usuários ao impacto, que, caso tenha grande intensidade, pode ocasionar a morte instantânea; sua correlação de influência com as variáveis pode ser obtida por: $t > \sigma_y > E > \nu > Et$. Desta maneira, observa-se que apesar de serem influenciadas pelas mesmas variáveis, não são afetadas do mesmo modo.

Da mesma forma, conforme demonstrado por Meran, Tupak e Mugan (2014), quanto maior a razão entre a espessura (t) e comprimento da célula (l) ocasiona uma redução na taxa de deformação e o aumento da força máxima, consequências vistas na Figura 40, o que ocasiona o aumento da densificação relativa do absorvedor, minimizando ou maximizando os efeitos.

Figura 40 - Diagrama tensão-deformação em função da densidade drelativa

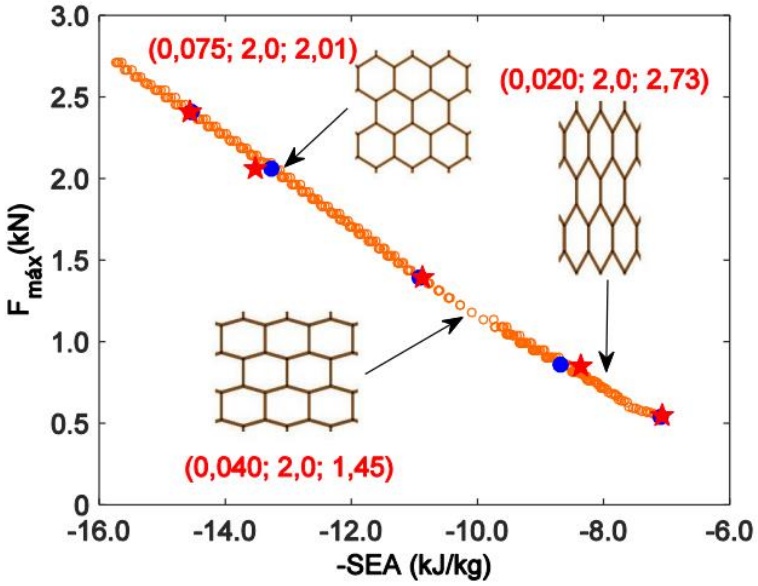


Fonte: Rodrigues, 2019

Além disso, conforme constatado pelos estudos de Rodrigues (2019), o formato hexagonal apresentam o melhor desempenho ao impacto em direções transversais do que dos

demais formatos, sendo o hexagonal regular, obtém-se altos valores de absorção de energia especifíca, conforme Figura 41.

Figura 41 - Gráfico de correlação entre força máxima e energia absorvida



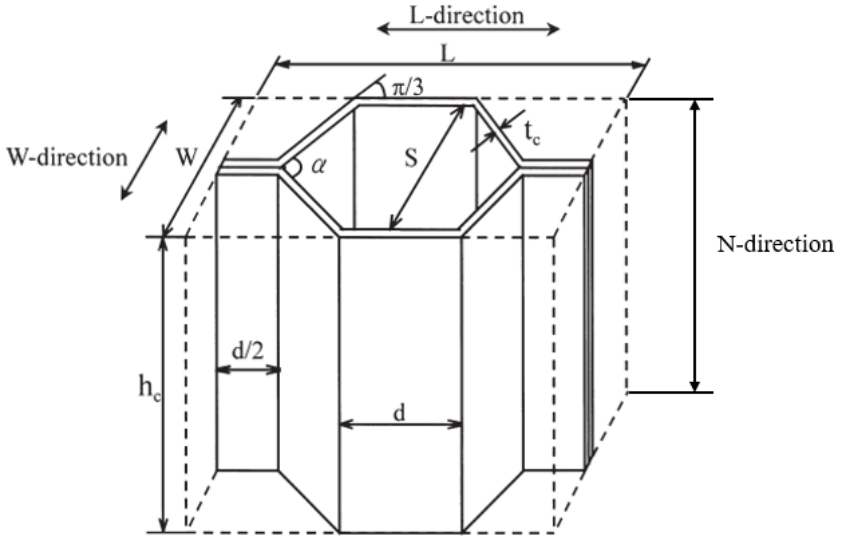
Fonte: Autor “adaptado de” Rodrigues, 2019

Outro fator também em destaque é a velocidade de impacto; que de acordo com Deqiang, Weihong, Yanbin (2010), quanto maiores as velocidades envolvidas no sistema, maior será a energia cinética envolvida no sistema e a taxa de densificação do amortecedor, podendo ocasionar a redução da atenuação do impacto, aumentando o risco de integridade dos ocupantes.

Posto isso, conforme elencado grande parte dos fatores que influênciam no sistema de absorção e atenuação da colisão, o estudo de Paik, Thayamballi e Kim (1999) apresenta a estrutura com propriedades que, neste presente projeto, será objeto de estudo. Vale-se destacar, conforme antes mencionado, estas propriedades se enquadram dentro das característica aqui estudadas porém não estão otimizadas para aplicação em BR-Shuttle.

Utilizando como configuração de célula o formato hexagonal regular de alumínio A3003-H19, apresenta as características e propriedades na Tabela 10:

Figura 42 - Configuração de honeycomb



Fonte: Autor “adaptado de” Paik, Thayamballi e Kim, 1999

Tabela 10 - Propriedades e dimensões do Honeycomb

PROPRIEDADES FÍSICAS	
Densidade	54,4 kg/m³
0,2% Tensão de escoamento	190 MPa
Alongamento	4 %
Módulo compressivo	540 MPa
Resistência compressiva	2,5 MPa
Resistência ao cisalhamento , L	1,4 MPa
Resistência ao cisalhamento , W	0,85 MPa
Módulo de cisalhamento, L	260 MPa
Módulo de cisalhamento, W	130 MPa

DIMENSÕES	
Material	A3003-H19
Tamanho da célula (S)	6,35mm
Espessura (tc)	0,0635mm
Altura (h)	100mm*

Fonte: Autor “adaptado de” Paik, Thayamballi e Kim, 1999

Conforme definido através da matriz de risco, este painel lateral será produzido através de manufatura aditiva, pelo método DMP (*Direct Metal Printing* - Impressão Direta de Metal), devido a sua alta complexidade e precisão dimensional, entre outros fatores. O comportamento e características do absorvedor são abordados através de simulações no tópico 6.

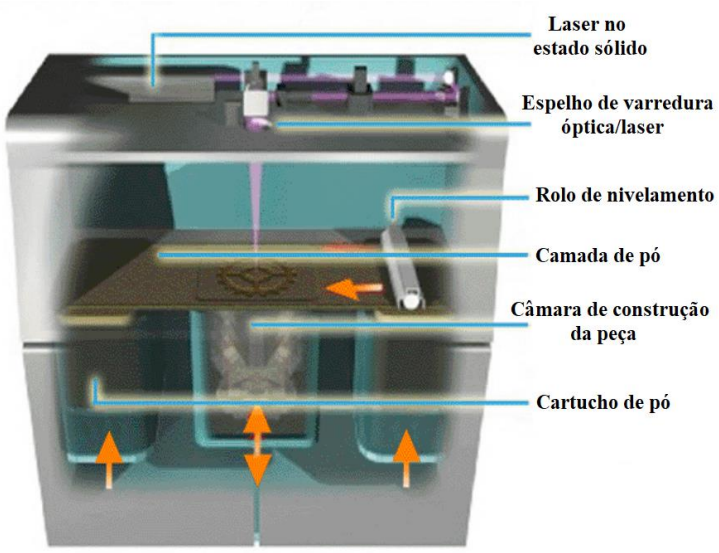
4.3.1 Processo de fabricação do painel lateral

A tecnologia de manufatura aditiva (também conhecida como impressão 3D) consiste no processo de criar objetos camada por camada, onde um laser de fibra é direcionado a uma camada de pó metálico fino fundindo este pó; as partículas então se ligam umas às outras

criando uma camada. O processo se repete de maneira sequêncial de modo que uma nova camada se ligue a anterior, permitindo que o material tenha uma estrutura homogênea (DIRECT, 2021).

Entre os materiais utilizados na manufatura aditiva é possível citar o alumínio, o titânio e o aço inoxidável. A Figura 43 busca representar o funcionamento de um processo de manufatura aditiva.

Figura 43 - Processo de manufatura aditiva



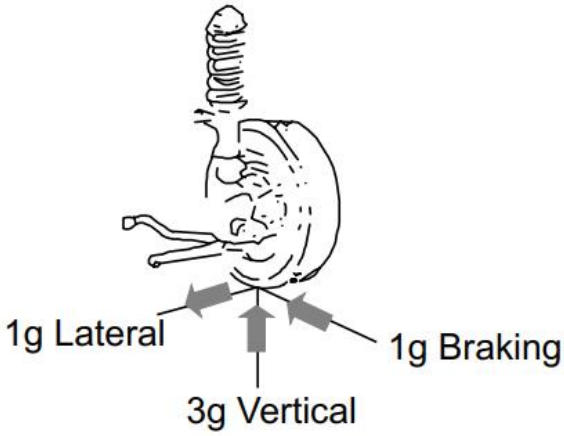
Fonte: Autor “adaptado de” Direct, 2021

Santos (2014) descreve que a liga AlSi10Mg é comumente aplicada no setor automotivo buscando redução de peso e resistência mecânica. Detalha ainda que no processo de fabricação desta liga por fundição por metal laser obtém-se um comportamento mecânico superior quando comparado ao processo de fundição em molde permanente. Por estes motivos, optou-se por aplicar a liga AlSi10Mg com o processo de manufatura aditiva DMP no desenvolvimento deste projeto.

4.4 VERIFICAÇÃO DE CARGAS DA SUSPENSÃO

Conforme proposto por MALEN (2011, p. 345), deve-se dar grande atenção na distrubuição de cargas provenientes das da suspensão, conforme acelerações e direções sugeridas na Figura 44, devido ao seu alto índice de concentração nas fixações, e também garantir que as cargas sejam transferidas para as regiões mais estruturadas do chassis.

Figura 44 - Cargas provenientes da suspensão



Fonte: Malen, 2011, p.345

Com isso, para o dimensionamento da solução proposta, tem-se que:

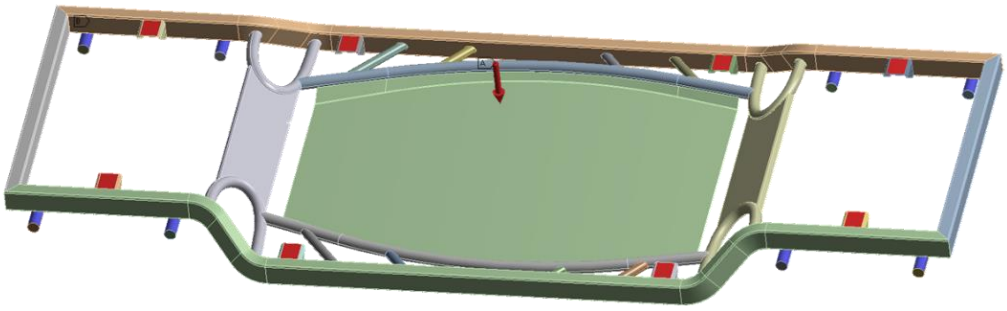
Equação 11 – Carga Vertical na Região da Suspensão

$$F_{Dist.} = 3.g.m_{total} = 3\ .\ 9{,}81\frac{m}{s^2}\ .\ 2875kg$$

$$F_{Dist.} = 84611N \sim 85kN$$

Desta forma, o modelamento preliminar do conceito de simulação consiste em pontos de apoio deslizante nas regiões de suspensão, uma força remotamente distribuída em todos os pontos de ancoragem entre chassis e carroceria – aplicada no CG da carroceria – e contatos colados entre todos os componentes.

Figura 45 - Pontos Para Análise de Cargas Verticais

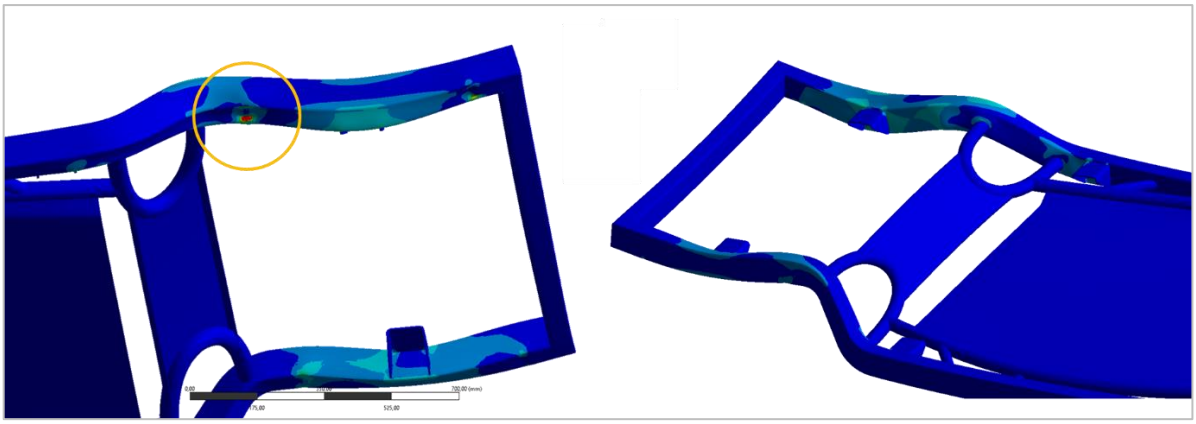


Fonte: Autor

Na Figura 46 pode-se analisar os resultados obtidos na simulação das cargas verticais, a análise realizada é simplificada a fim de permitir iniciar o estudo das energias absorvidas. Com estes resultados, observou-se que a distribuição de tensões ao longo do chassis está coerente e conforme o esperado. No entanto, a concentração de tensão na região destacada se

dá devido ao tipo de simplificação utilizada no apoio. Um refinamento no apoio trará melhores resultados.

Figura 46 - Resultados da Simulação de Cargas Verticais



Fonte: Autor

4.5 *PACK* DE BATERIAS

Para o dimensionamento do espaço útil que existiria para desenvolver o absorvedor de energia, foi necessário dimensionar inicialmente a bateria necessária e o espaço estimado que deverá ser ocupado.

Para início de cálculos, motor e inversor de frequência indicado pelo fabricante WEG para aplicação em veículos elétricos de transporte; igualmente, foram utilizadas células de energia da fabricante Melasta. Todas as especificações e dados técnicos podem ser encontrados no ANEXO C .

Uma vez estabelecidas as células e o conjunto motor-inversor que será utilizado, é possível extrair um conjuntos de dados técnicos necessários; estes apresentados na Tabela 11 e na Tabela 12 a seguir:

Tabela 11 - Dados para dimensionamento do *pack* de baterias

Motor	Máxima potência pequerida	$P_{motor\ máx}$	65 kW @4500 rpm
	Potência média requerida	P_{motor}	35 kW
	Tensão do motor	V_{motor}	220 V (trifásico)
	Torque máximo	$T_{motor\ máx}$	145 Nm

Fonte: Autor

Tabela 12 - Dados para dimensionamento do *pack* de baterias - Continuação

Inversor	Máxima tensão de alimentação	$V_{máx}$	400 Vcc
	Corrente de saída nominal	$I_{máx}$	275 Arms

Células de energia	Tensão (plena carga)	V_{cell}	4,2 V
	Capacidade Nominal	Cap_{cell}	6,55 Ah
	Corrente nominal de descarga (15C)	I_{cell}	98,25 Ah
	Peso	P_{cell}	0,126 kg
	Altura	H_{cell}	0,127 m
	Largura	L_{cell}	0,042 m
	Espessura	T_{cell}	0,0102 m

Fonte: Autor

Uma vez reunidos, é possível determinar as correntes (máxima e média) exigida pelo motor ($I_{máx}$ e $I_{média}$, respectivamente), pois estes serão requisitados para dimensionar o *pack* de baterias. Para tal, o valor pode ser obtido pela razão entre a potência requerida pelo motor e a tensão de alimentação do inversor, conforme apresentado na Equação 2 e Equação 3; para efeitos de cálculos, foi considerado um coeficiente de segurança de 7,6%, conforme demonstrado abaixo:

$$I_{média} = \frac{P_{motor}}{V_{motor}} = \frac{35000}{220 * 3} = 53{,}03\ A$$

$$I_{máx} = \frac{P_{motor}}{V_{motor}} = \frac{70000^{(1)}}{220 * 3} = 106{,}06\ A$$

Para efeitos de segurança, para cálculo da corrente máxima, foi utilizado um coeficiente de segurança de 7,69%, utilizando o calor de 70 kW.

Determinada a corrente máxima ($I_{máx}$), parte-se então para o dimensionamento do arranjo do *pack* de baterias. A quantidade de células em série é obtida através da razão entre a tensão máxima requerida pelo inversor ($V_{máx}$) e a tensão nominal da célula (V_{cell}), representado conforme utilização da Equação 4 abaixo:

$$Quantidade\ _{série} = \frac{V_{máx}}{V_{cell}} = \frac{400}{4{,}2} = 95{,}238 = 96\ unidades$$

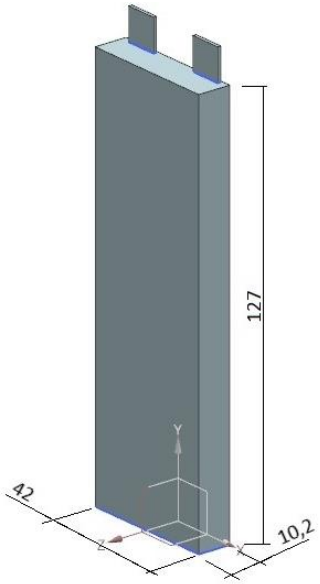
Semelhante modo, a quantidade de células em paralelo foi obtida pela razão entre a corrente máxima exigida ($I_{máx}$) e a corrente nominal de descarga (I_{cell}), conforme aplicação da Equação 5 a seguir:

$$Quantidade\ _{paralélo} = \frac{I_{máx}}{I_{cell}} = \frac{106{,}06}{98{,}25} = 1{,}079 = 2\ unidades$$

Feito isso, tem-se então que o arranjo necessário para o fornecimento de energia para o *powertrain* do veículo é de **96s2p**, ou seja, dois arranjos paralelos de noventa e seis células em série, totalizando 192 células aplicadas no veículo.

As dimensões das células, contidas no ANEXO C, seguem conforme Figura 47.

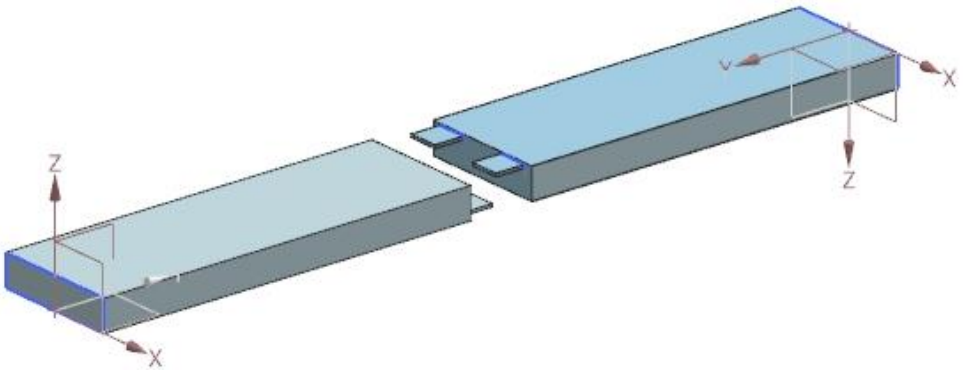
Figura 47 - Celula de energia - Melasta



Fonte: Autor

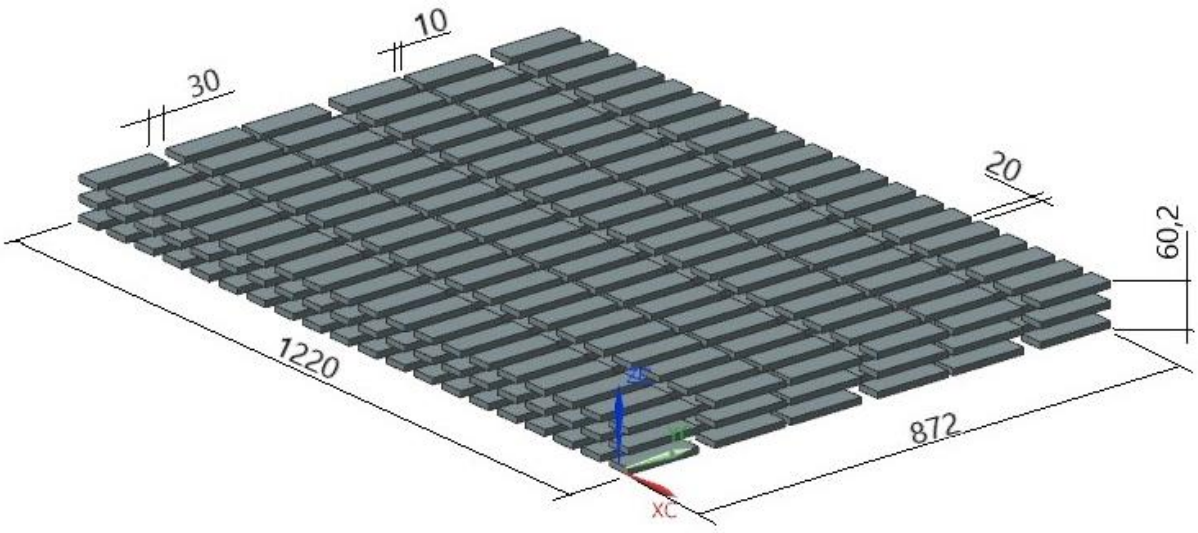
Após diversos estudos de *layout*, foi adotado que as células estariam dispostas horizontalmente, uma oposta a outra e com os pinos de conexão contrapostos (vide Figura 48) com uma largura de 30mm entre faces pinadas e 10mm para faces que não possuem pinos. Para o comprimento, foram dispostas 20 células horizontalmente, denominando um comprimento total de 1220 mm. Feita a base do *pack*, há um empilhamento de baterias com distância de 20mm entre células, concluindo em uma altura de 60,2 (vide Figura 49).

Figura 48 - Células contrapostas



Fonte: Autor

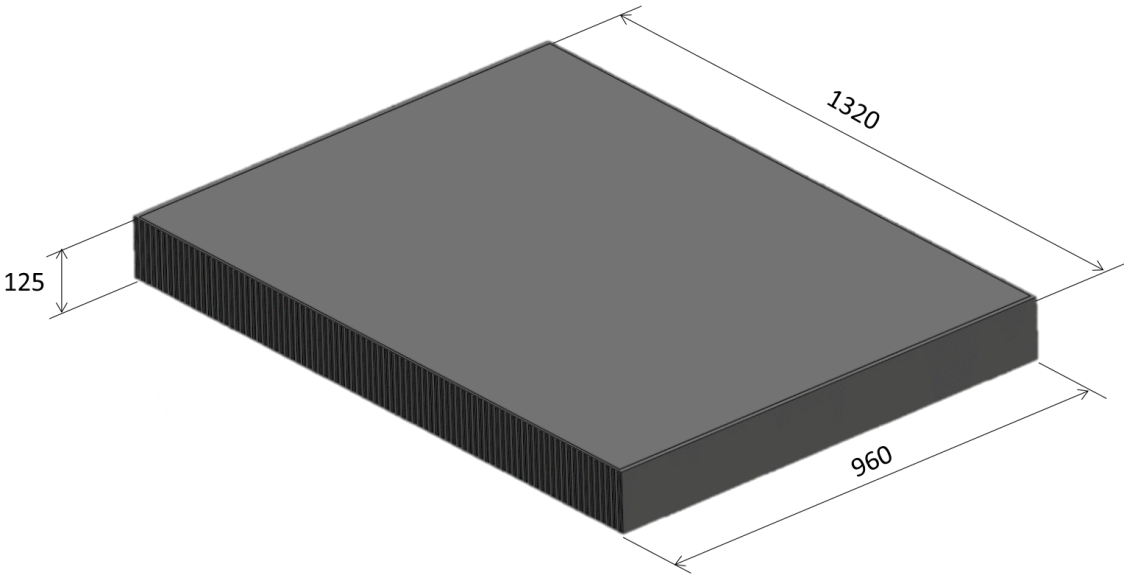
Figura 49 - Dimensional - *Pack* de baterias



Fonte: Autor

Determinado o dimensional do *pack* de baterias, por adotado um invólucro de 1320x960x125mm, comprimento, largura e altura respectivamente, para abrigar as baterias e o cabeamento necessário, como indicado na Figura 50. O peso do conjunto de baterias é de 45,36 kg e adotado mais 10 kg (invólucro, cabeamento e outros), totalizando cerca de 55 kg o *pack* de baterias completo.

Figura 50 - Invólucro das baterias



Fonte: Autor

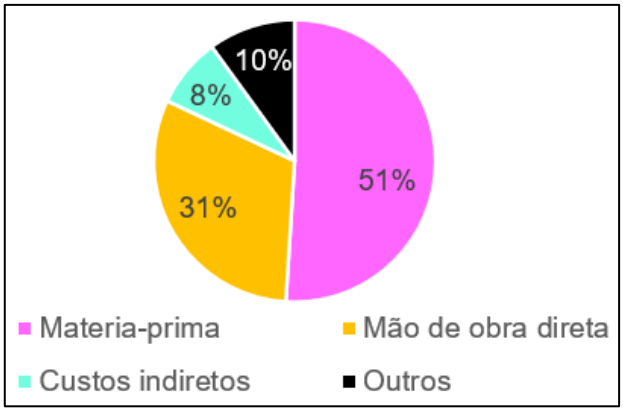
5 CUSTO DO PROJETO

Para estimar os custos envolvidos no projeto foram adotadas duas abordagens distintas. Com a premissa de terceirizar a fabricação tanto do chassis quanto do painel lateral primeiramente foram pesquisadas empresas especializadas na fabricação de chassis personalizados e protótipos e também empresas do ramo de manufatura aditiva.

No caso do chassis, foram contadas duas conceituadas empresas de projeto e fabricação, a paulista EBTech e gaúcha Metalmoro, a primeira com maior experiência em chassis personalizados e a segunda com renome no setor de competições automotivas nacionais. Ambas analisaram as necessidades e características do projeto estimando um valor aproximado de R$ 20.000,00 para a fabricação de um protótipo para nosso chassis.

Por sua vez, o Painel Lateral necessitou de uma abordagem diferente. A falta de empresas nacionais no setor de manufatura aditiva de produtos metálicos (DMP – Direct Metal Printing), no caso a liga alumínio silício manganês (AlSi10Mg), implicou na necessidade de identificar o custo da matéria prima em si e considerar o peso da peça retirado do software de projeto. O custo pesquisado do AlSi10Mg em pó foi de U$ 4.000,00/100 kg. Com essas informações em mãos foi possível calcular o custo da matéria prima por painel, a partir disso foram adotas as participações dos custos mais relevantes num produto, informação essa retirada do XXII Congresso Brasileiro de Custos (Figura 51) onde a matéria prima representa 51%, Mão de Obra 31%, Custos Indiretos 8% e Outro 10%, compondo assim o valor final por painel estimado em aproximadamente R$ 4.500,00.

Figura 51 - Composição dos custos relevantes



Fonte: Jesus, 2015

6 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

6.1 METODOLOGIA

A fim de avaliar o comportamento absorvedor do painel lateral, a metodologia encontrada para a análise inicial consiste em isolar os elementos externos da plataforma, com o intuito de avaliar e comparar o comportamento absortivo isoladamente. Fazendo possível a verificação da energia absorvida com painel lateral e sem.

6.2 HARDWARE E SOFTWARE

Para o desenvolvimento das simulações, utilizou-se uma workstation disponibilizada pela instituição, tendo como especificações para processamento Intel Xeon E5-1620 3,50 GHz com 16GB RAM disponíveis. Teve como software o módulo LS-Dyna do Ansys 2021 R1 para o estudo da simulação dinâmica de impacto .

6.3 MATERIAIS APLICADOS

Segundo SETIAWAN & SALIM (2017), as principais propriedades mecânicas dos materiais para a análise de seu comportamento em geral, são resistência, rigidez, densidade, modulo de elasticidade.

Para uma definição de material equivalente da geometria honeycomb presente no painel lateral, utilizou-se as características apresentadas por Paik (1999), resultando como entrada no Ansys um novo material, com características ortotrópicas cujas equivalências de direções foram adaptadas para a aplicação do absorvedor. Direção W verticalmente disposta ao veículo, direção L longitudinalmente ao veículo e direção N transversalmente ao veículo, conforme indicado na Tabela 13.

Para a entrada dos dados para a simulação, considerou-se da biblioteca padrão do Ansys, *general materials*, as propriedades dos materiais: *Structural Steel*, para aço. *Aluminum Alloy*, para Alumínio

Em resumo, a Tabela 13 apresenta as propriedades mecânicas dos materiais supracitados, utilizados de entrada no Ansys .

Tabela 13 - Propriedades mecânicas dos materiais

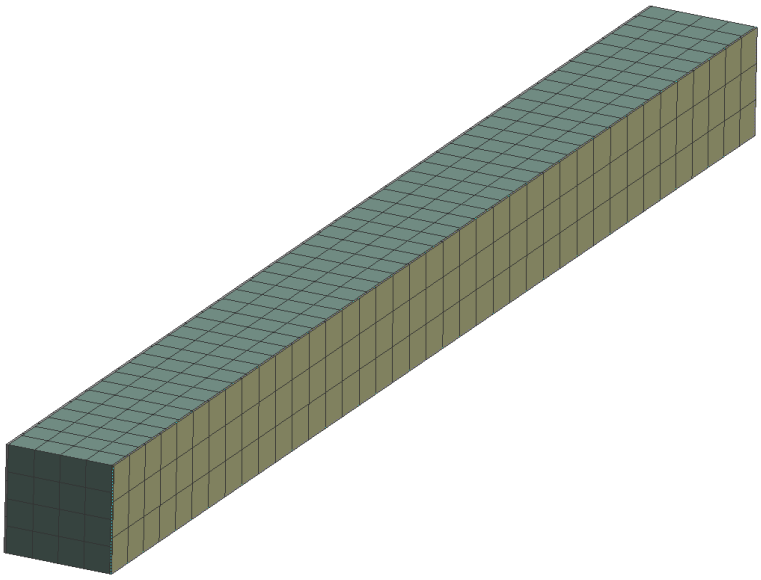
Material	**Structural Steel**	**Alluminum Alloy**	**Núcleo de honeycomb de alumínio**
Densidade (kg/m³)	7850	2770	54,4
Modulo de Young (GPa)	200	71	$0,54^{(N);}$ $0,054^{(W;\ L)}$
Coeficiente de Poisson	0,3	0,33	0,05
Limite de Escoamento (MPa)	250	280	2,17

Fonte: Autor

6.4 MODELO E DISCRETIZAÇÃO DE ELEMENTOS FINITOS

Para o modelamento e simplificação do painel lateral, considerou-se duas chapas de alumínio, de forma a representar a espessura frontal e traseira do absorvedor com 2mm, e um solido central referente à região do honeycomb de alumínio, cujo recebeu a aplicação do material equivalente supracitado.

Figura 52- Malha painel lateral simplificado

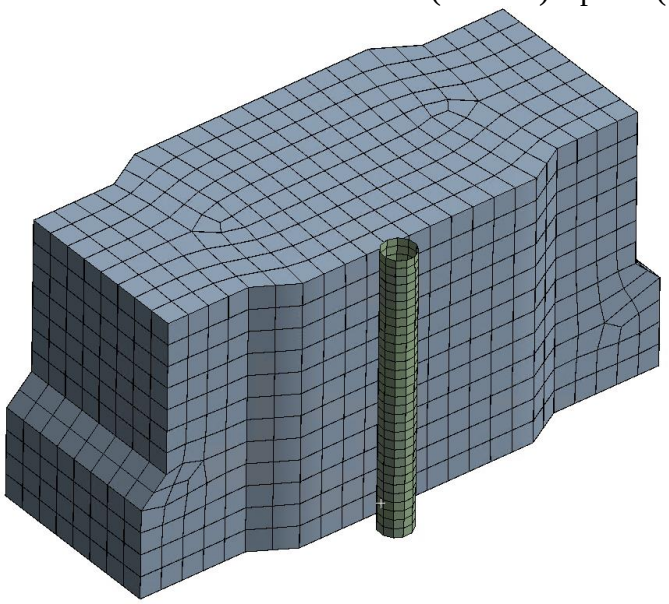


Fonte: Autor

Se tratando de uma simulação dinâmica, simplificações do modelo 3D devem ocorrer de forma a adequar o modelo de estudo para os recursos disponíveis.Visando uma redução na densidade relativa de elementos por peça, considerou-se a superfície média da longarina e da carroceria, tendo também como entrada ao software suas respectivas espessuras. Apresenta-se

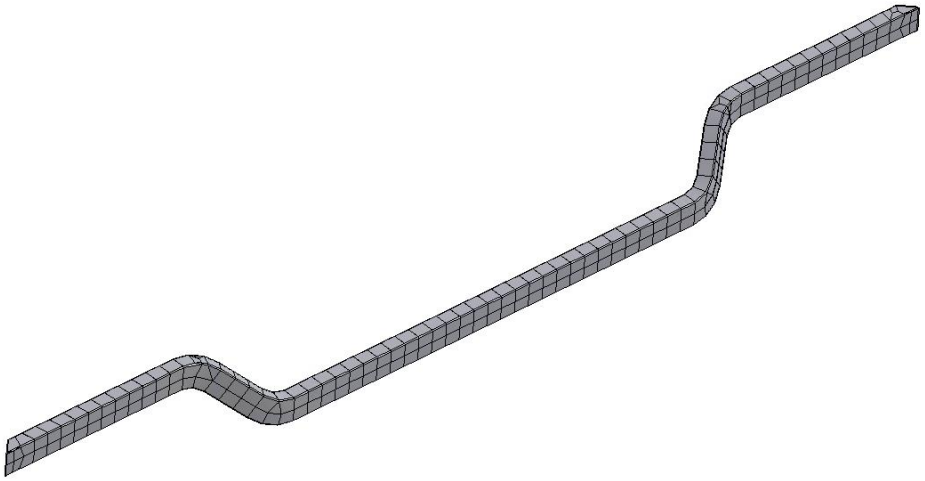
na Figura 53 e na Figura 54 as malhas utilizadas para a simulação, com tamanho de elementos variando visando uma densidade de elementos harmônica.

Figura 53 - Malhas externas: carroceria (180mm) e poste (70mm)



Fonte: Autor

Figura 54 – Malha longarina externa (60mm)



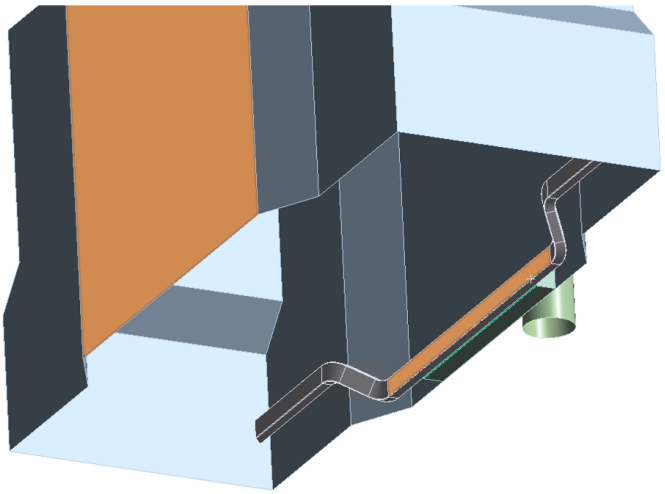
Fonte: Autor

6.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Definindo os parâmetros de entrada no Ansys, aplicam-se as condições de contorno de forma a tornar representativa a metodologia abordada no tópico 6.1.

Iniciando pelo isolamento dos elementos internos, ao engastar as faces destacadas na Figura 55 é possível avaliar a capacidade de absorção com a deformação da região de interesse, onde ocorre a colisão com o poste.

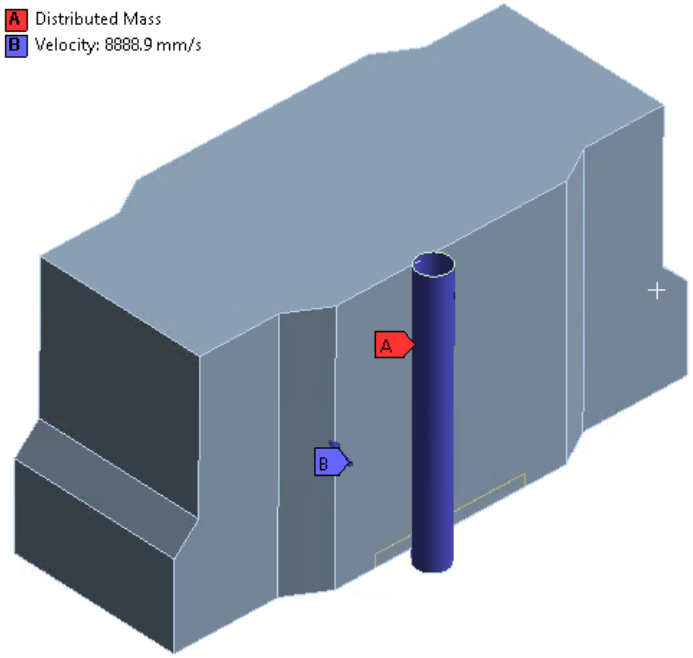
Figura 55 - Engastamentos



Fonte: Autor

Como de definição de elemento de colisão, o poste representa o elemento móvel , responsável por trazer energética ao sistema. Projetado à 15 graus de inclinação em relação ao centro do veículo, velocidade de 32 km/h (8888,9 mm/s) , fazendo referência com o impacto lateral ao poste rígido da EURO NCAP. Para caracterização da energia junto à velocidade, considerou-se como massa distribuída no poste o valor equivalente à massa total do veículo, de 2875 kg.

Figura 56 - Velocidade e massa



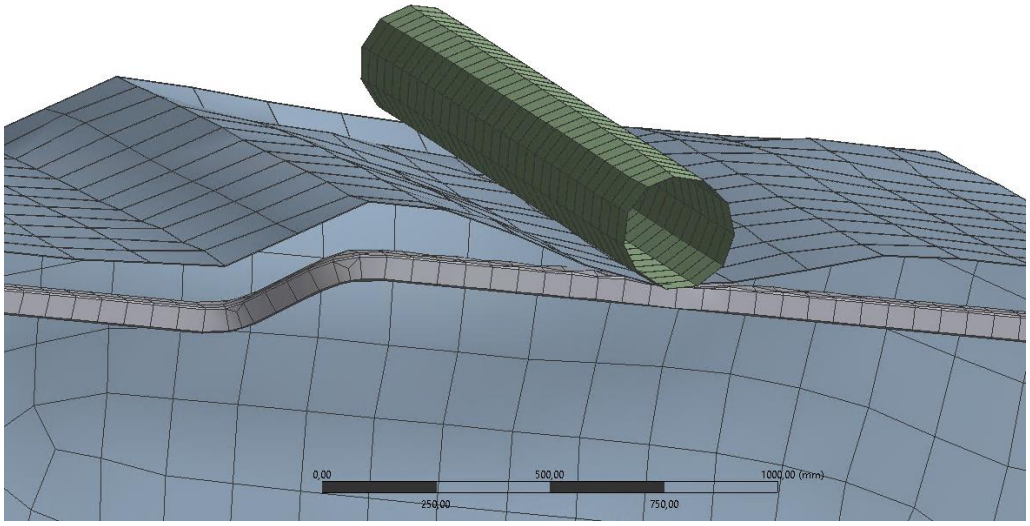
Fonte: Autor

Já na configuração das configurações de simulação, utilizou-se como duração máxima da avaliação 11,5ms, com isto avaliando uma penetração teórica equivalente à 102mm de deslocamento do poste.

7 RESULTADOS

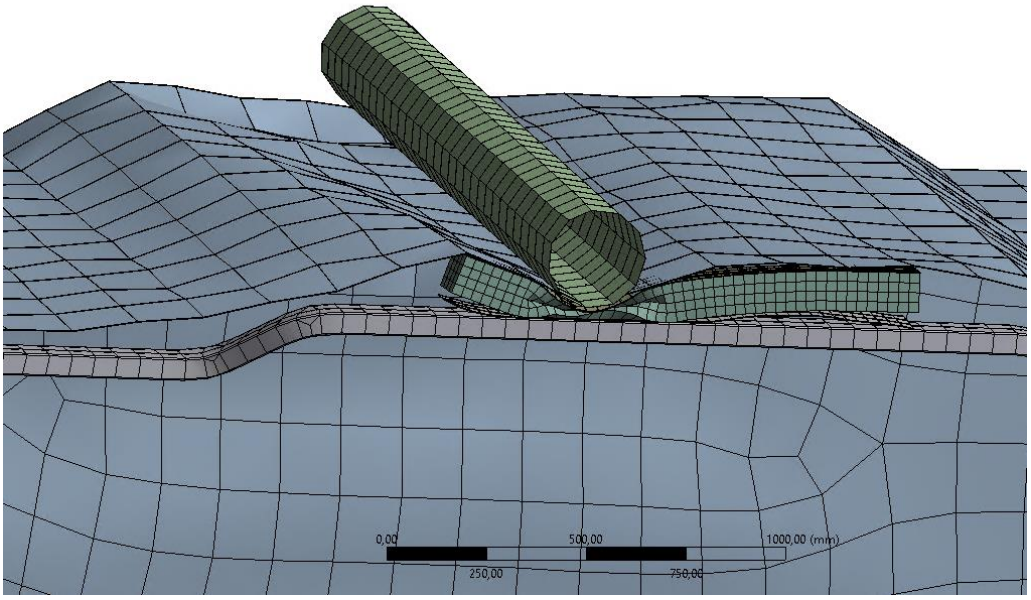
Realizada a parametrização da simulação conforme descritivo do tópico 6, caracterizou-se as simulações em duas condições, sem painel lateral (1) e com painel lateral (2), cuja deformação simulada são apresentadas pela Figura 57 e Figura 58, respectivamente.

Figura 57 - Deformação sem painel lateral



Fonte: Autor

Figura 58 - Deformação com painel lateral



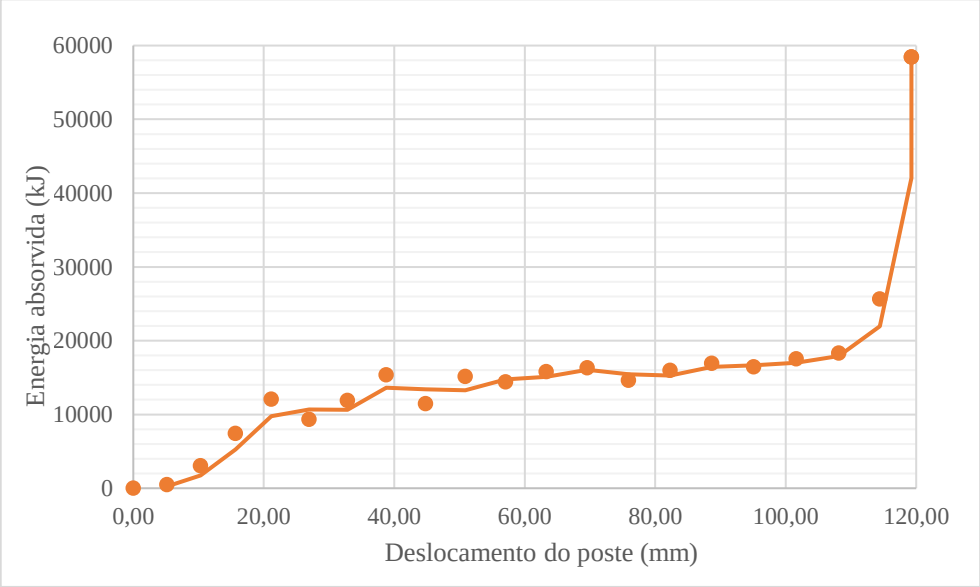
Fonte: Autor

Para verificação de similaridade entre as simulações o comportamento, propõe-se o uso da propriedade energia abosorvida, onde pode-se observar o comportamento do sistema

no decorrer das deformações ocasionados pela transformação de energia cinética em energia interna pelas peças que realizaram a absorção desta energia.

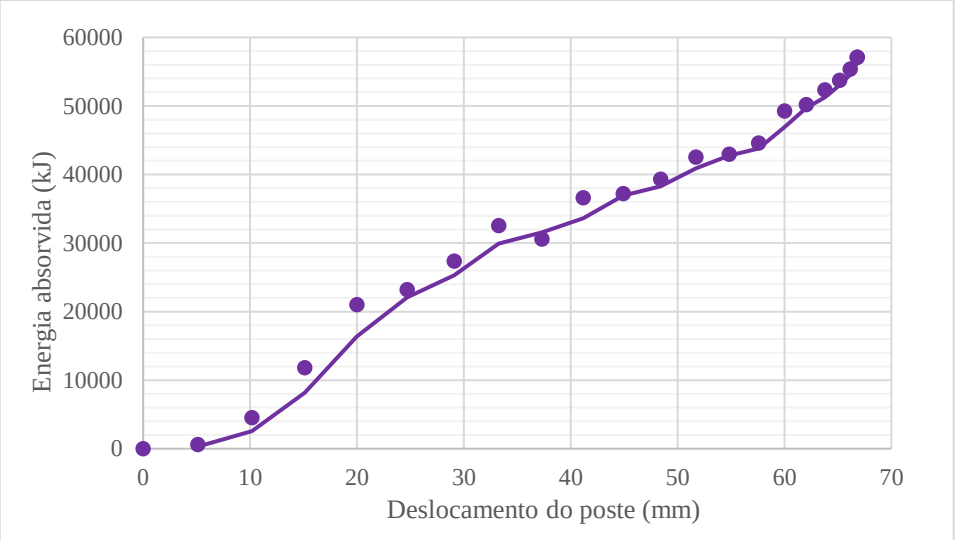
Destaca-se também a importância da penetração, deslocamento em milímetros, do elemento projetado à estrutura absortiva. É correto afirmar que, em uma condição com maior absorção de energia cinética, o elemento terá menor penetração. Apresenta-se na Figura 59 Figura 60 os resultados da simulação que relacionam energia absorvida por deslocamento para as simulações 1 e 2, respectivamente, com valores máximo de 119mm e 66mm de deslocamento e como valores de energia interna 58423 kJ e 57138 kJ .

Figura 59 - Energia interna por deslocamento, sem painel lateral



Fonte: Autor

Figura 60 - Energia interna por deslocamento, com painel lateral

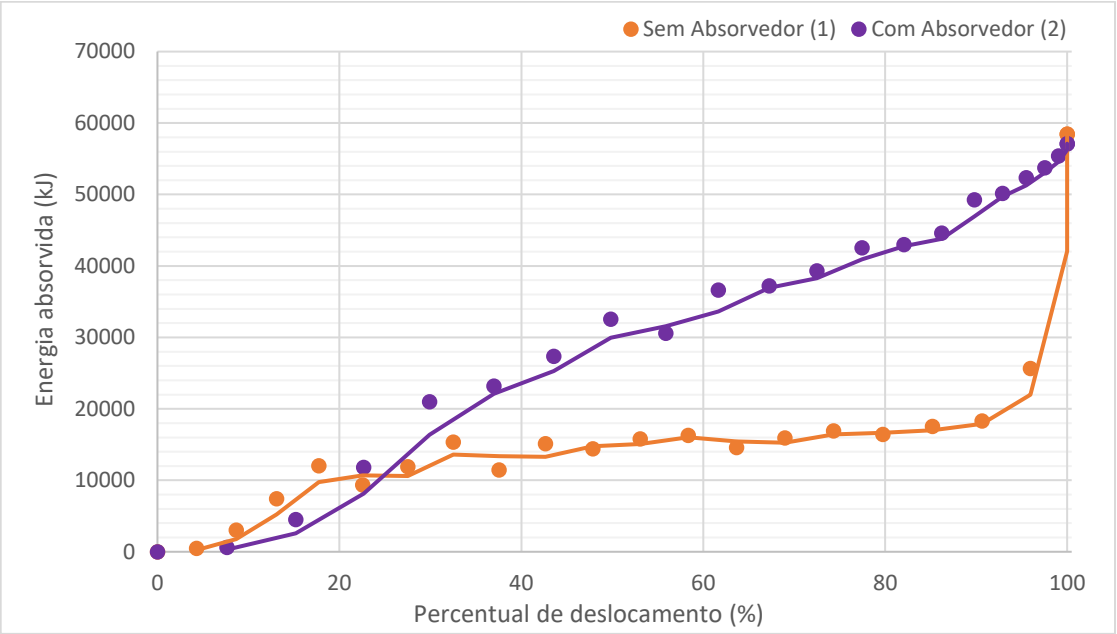


Fonte: Autor

Desta forma, com uma diferença de 2% na energia total entre simulações, caracteriza-se a similaridade energética entre às condições 1 e 2 simuladas.

Afim de extrair discussões preliminares de resultados obtidos, propõe-se a caracterização do intervalo percentual do avanço do elemento projetado (poste), apresentado na Figura 61.

Figura 61 - Energia absorvida por percentual de deslocamento



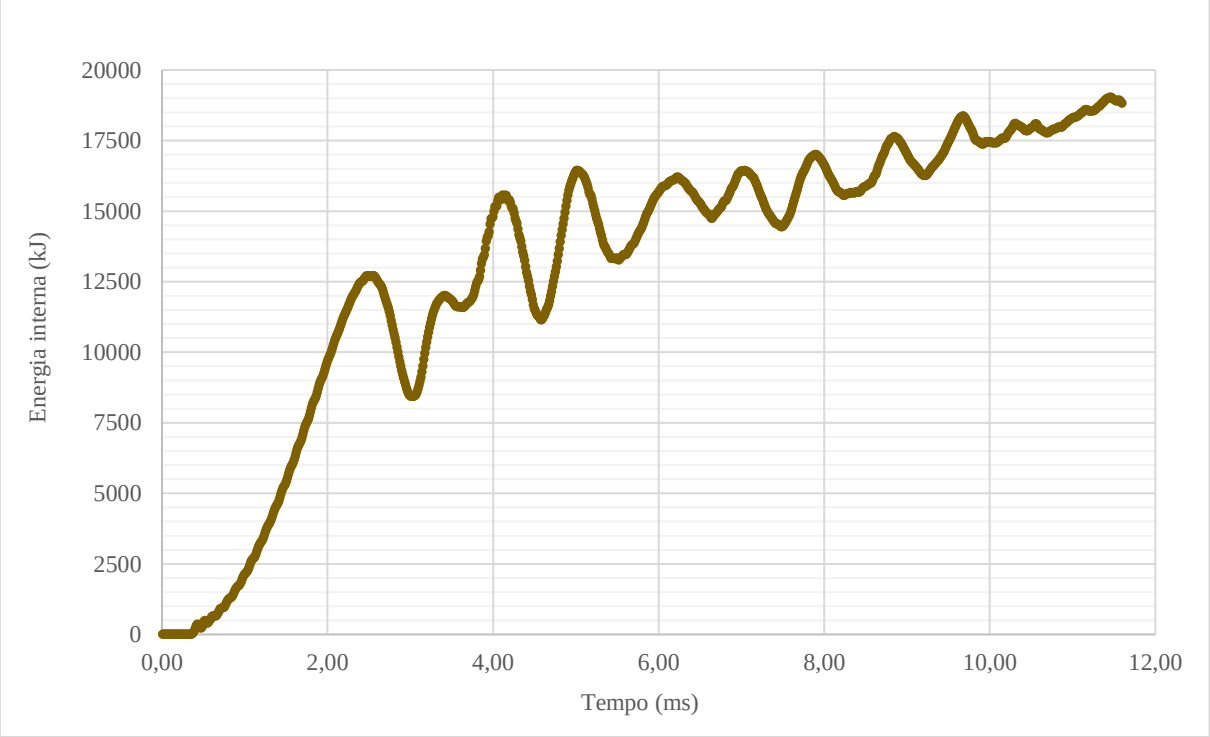
Fonte: Autor

Quando relaciona-se o desempenho energético da simulação 1 com a simulação 2, é importante notar que, ao fim do percurso de deslocamento da simulação 2 (95% a 100%), o poste entra em contato com a face externa da longarina, apresentando um salto considerável de energia absorvida.

Comparando o desempenho absorsivo de 0 a 95%, nota-se na condição 2 uma absorção mais linear de energia, devido ao colapso do honeycomb em seu caráter de compressão progressiva, além de apresentar maior absorção de energia.

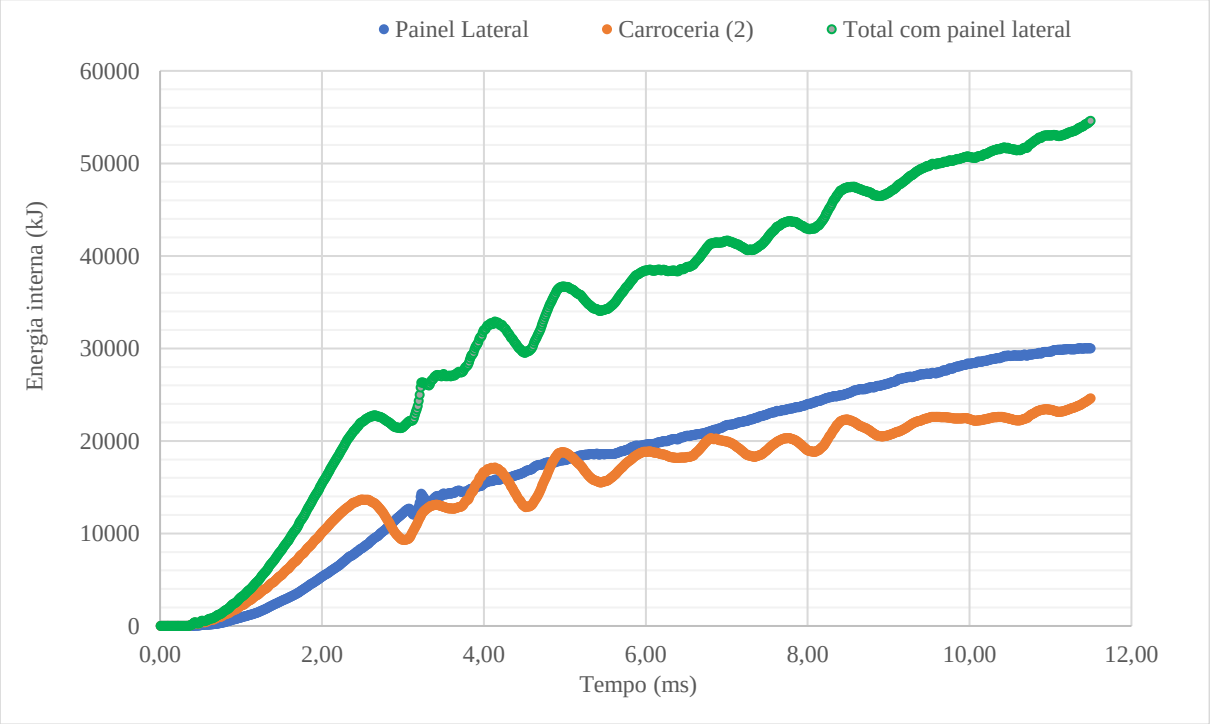
Para que não seja levado em consideração a condição absorsiva da longarina, tendo em vista que ela tem um engastamento na sua face interna ao veículo, apresenta-se na Figura 62 e na Figura 63 o caráter de absorção em relação ao tempo total de simulação, separados por componentes responsáveis pela absorção de energia.

Figura 62 - Energia interna absorvida por tempo, sem painel lateral



Fonte: Autor

Figura 63 - Energia interna absorvida por tempo, com painel lateral



Fonte: Autor

Posto isso, é possível realizar a comparação entre a energia absorvida com a utilização do absorvedor e sem sua utilização, sendo representada pela equação abaixo:

Equação 12 - Cálculo da melhoria na absorção

$$[\%]\ Melhora\ da\ absorção = \frac{Energia_{com\ absorvedor} - Energia_{sem\ absorvedor}}{Energia_{sem\ absorvedor}} . 100$$

$$[\%]\ Melhora\ da\ absorção = \frac{54587 - 18821}{18821} . 100 = 190{,}003\ \%$$

Com isso é possível concluir que, através da aplicação do absorvedor, há uma maior capacidade de absorção de energia pelo veículo; consequentemente, haverá uma menor deformação da estrutura do veículo caso ocorra uma colisão lateral e a atenuação de seus efeitos, garantindo assim a integridade do *pack* de baterias e a segurança dos ocupantes.

8 CONCLUSÃO

Os veículos híbridos e elétricos não são mais apenas uma tendência de inovação, cada dia mais estão presentes em nosso cotidiano, trazendo consigo novas concepções, tecnologias, métodos de fabricação, inovação e novos comportamentos, que devem ser estudados e discutidos a fim de, além de tornar acessíveis a aplicação, devem converter em maior segurança para os ocupantes e para a sociedade.

Para suprir e armazenar energia, novas ideias estão sendo propostas, dentre elas às bateriais de íon-lítio (LiPO), por apresentarem grande capacidade de armazenamento de energia atrelada a baixa densidade volumétrica. Porém, intrínseco à utilização, está o risco de comprometer a integridade das baterias caso haja um impacto lateral, tendo como consequências incêndios e explosões.

Com o objetivo de minimizar este risco, foi adotada a aplicação de um painel lateral para absorver, totalmente ou parcialmente, a energia decorrente do impacto da colisão através de sua deformação plástica. Para isso, a congruência entre o *design Honeycomb* e o conceito de flambagem progressiva mostrou-se muito vantajosa e vem sendo amplamente estudada em atenuadores de impacto. Dentro todos os modelos estudados, Paik, Thayamballi e Kim (1999) apresentam uma estrutura com características semelhantes às desejadas, servindo como base para o desenvolvimento da proposta a ser aplicada ao BR-Shuttle.

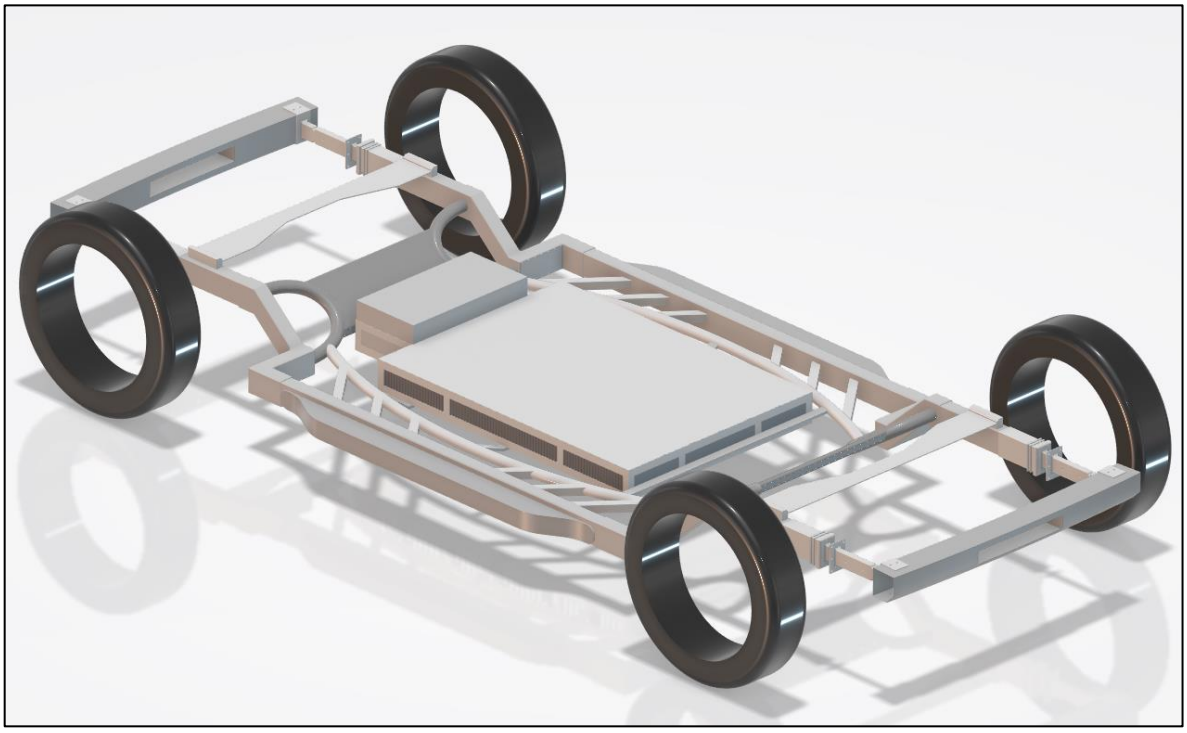
A fim de estabelecer um comparativo para o cálculo de melhoria, realizadas diversas simulações de uma estrutura com o absorvedor proposto e outra sem. Os resultados apresentam viabilidade ao uso da solução proposta e constata o aumento da taxa de absorção de energia pelo veículo, concluindo em uma melhoria de 190% quando comparado entre um mesmo período de deformação.

Para a continuação e viabilização do projeto no que tange o análise de colisão, propõe-se a análise completa da plataforma proposta, estudando o comportamento do conjunto completo, levando em considerações as interações dos demais componentes, tal como a realização do dimensionamento e otimização dos mesmos.

9 TRABALHOS PROPOSTOS

Como objeto de estudos futuros, propõe-se a avaliação do comportamento da distribuição de carga em uma plataforma skateboard para veículos elétricos, otimizando na plataforma completa para impactos laterais, considerando também choques frontais e traseiros. Estudos preliminares desenvolvidos, abrem a porta para a continuação do desenvolvimento do projeto da plataforma BR Shuttle, com os princípios estudados no projeto *Safeboard* em consideração o desenvolvimento mais detalhado da estrutura, como representado pela Figura 64.

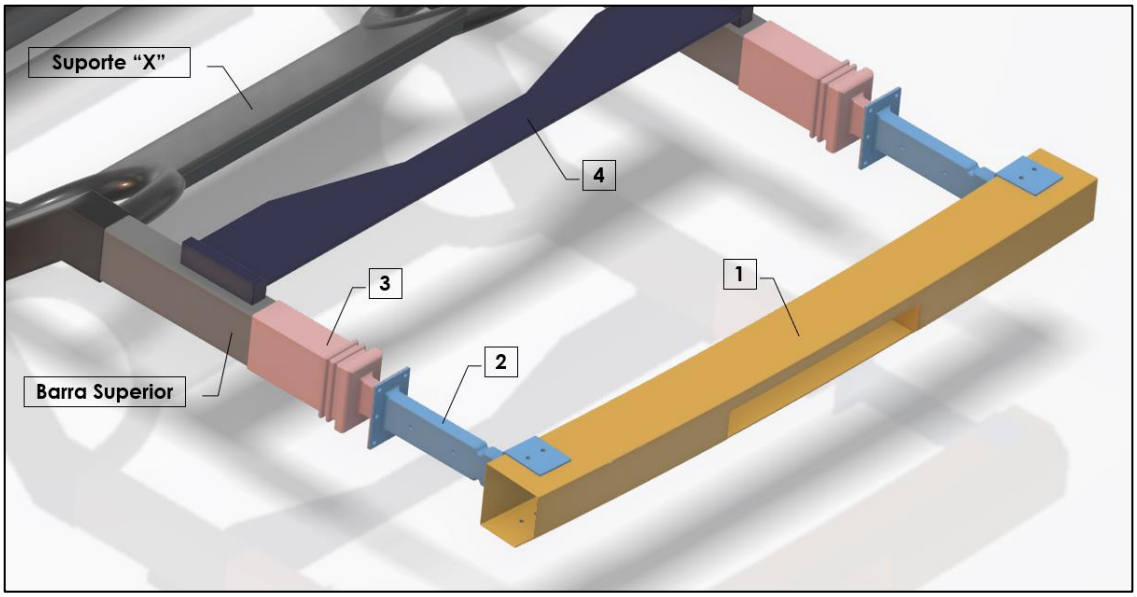
Figura 64 - Possível plataforma futura



Fonte: Autor

Em impactos dianteiros ou traseiros, propõe-se o estudo de peças como indicado na Figura 65 onde o choque tem origem no bumper beam (1), passando pelos pares de suportes de alumínio (2) e (3), os quais possuem geometrias que facilitam a deformação para absorver maior quantidade de energia. Seguindo a linha de distribuição, a energia é então direcionada pela barra superior e a travessa (4), a qual possui como finalidade prover maior rigidez à torção para a plataforma, além de ajudar na absorção da energia e direcionamento do impacto para o suporte X. O direcionamento da energia de uma colisão é guiado à peça mais resistente do sistema, sendo nesse caso o suporte X.

Figura 65 - Detalhamento componentes propostos frontais e traseiros



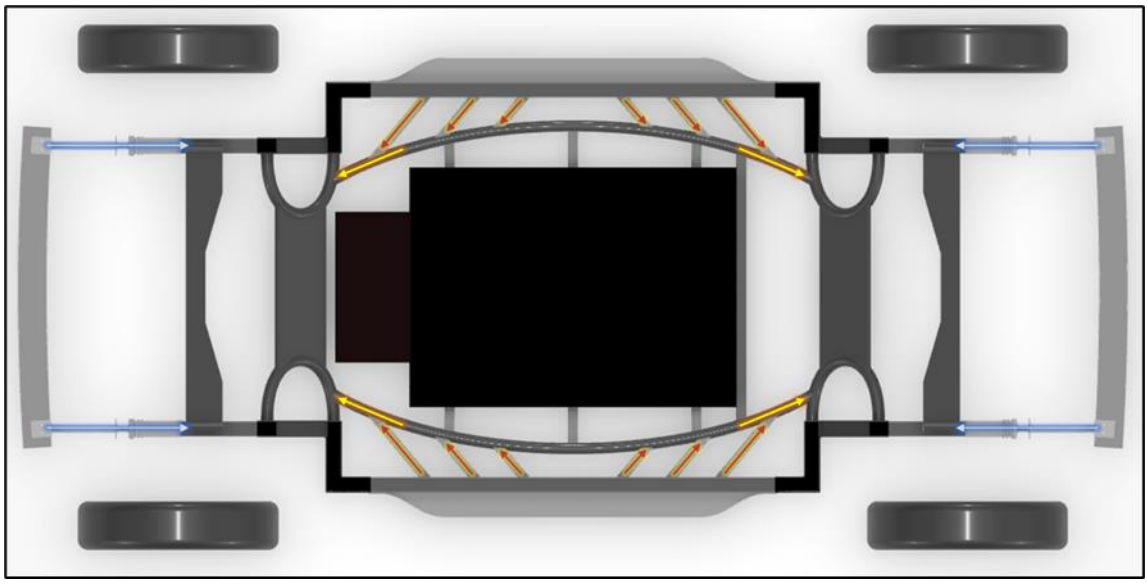
Fonte: Autor

A partir do objeto de estudo preliminar BRShuttle e com a plataforma *SafeBoard*, pode-se realizar um estudo completo sobre o desenvolvimento dos sistemas periféricos da plataforma, tal como o estudo detalhado e otimização dos sistemas individuais, como powertrain, suspensão, sistema de arrefecimento, estudo de arrefecimento das baterias.

Ainda na caracterização da estrutra do chassis, propõe-se a verificação completa de cargas verticais e de rigidez torcional, aprimorando o sistema desenvolvido e fazendo refinamentos para que a solução seja condizente com a aplicação.

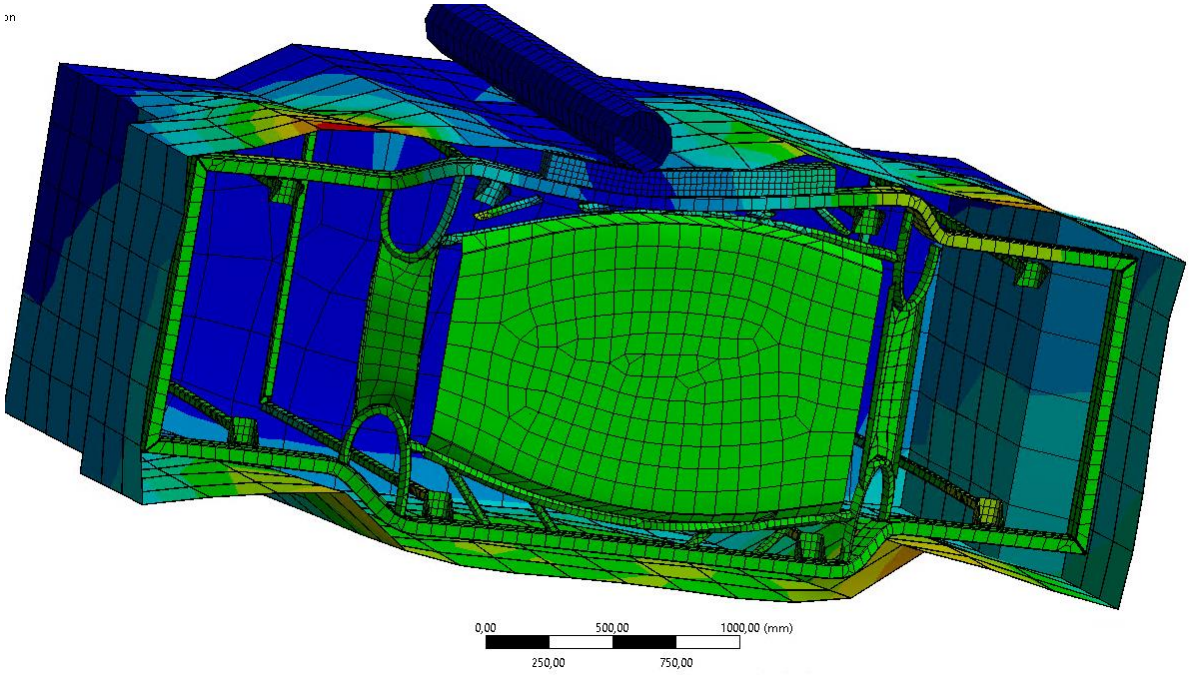
Propõe-se um estudo detalhado de absorção de impacto lateral visando a absorção de energia através da plataforma completa, como indicado nos estudos preliminares indicados na Figura 66, tal como um crashtest fiel às condições EURO NCAP, observado as condições necessárias de software mais indicado, ou possível solução de cluster, isto é, múltiplos computadores dedicados a simulação de alto processamento. Apresenta-se uma simulação preliminar da colisão real na Figura 67.

Figura 66 - Plataforma futura com linhas de absorção de energia



Fonte: Autor

Figura 67 - Simulação EURO NCAP proposta



Fonte: Autor

REFERÊNCIAS

ALVES, G. T. **Avaliação de Absorção de Energia de Impacto - Uma Abordagem Baseada em Testes com Estruturas Similares**. 2009. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2009.

ANDREJCAK, Tomas. VW Tarok: V Sao Paule sa rodí nový pikap. Odvezie veľa a v komforte SUV. Pravda. 2018. Disponível em: https://auto.pravda.sk/novinky/clanok/490799-vw-tarok-v-sao-paule-sa-rodi-novy-pikap-odvezie-vela-a-v-komforte-suv/ Acesso em: 12 Maio 2021

BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. 2012. p. 207-224. Tese de doutorado (Programa de Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1489/3/A%20BS%2033%20Ve%C3%ADculos%20el%C3%A9tricos%20-%20hist%C3%B3ria%20e%20perspectivas%20no%20Brasil_P.pdf >. Acesso em: 16 outubro 2021.

BAROUTAJI, A.; SAJJIA, M.; OLABI, A. On the crashworthiness performance of thin-walled energy absorbers: recent advances and future developments. **Thin-Walled Structures**, v. 118, p. 137-163, 2017.

BOWER, George. **Tesla Panasonic Quietly Outmaneuver All Lithium Battery Manufacturers**. 2018. Disponível em: <https://insideevs.com/news/338268/tesla-panasonic-quietly-outmaneuver-all-lithium-battery-manufacturers/>. Acesso em: 15 Maio 2021

BEJERANO, Pablo G. **A bateria de grafeno para carros com 1,000 km de autonomia**. 14 de janeiro de 2016. Disponível no site: http://br.blogthinkbig.com/2016/01/14/a-bateriade-grafeno-para-carros-com-1000-km-de-autonomia/ . Acessado em 10 de novembro de 2021

BITZER, T. **Honeycomb technology**: materials, design, manufacturing, applications and testing. 1 ed. Dublin (EUA): Springer Science & Business Media, 1997.

CANOO Lifestyle Vehicle. Autoblog. 2020. Disponível em: <https://www.autoblog.com/photos/canoo/#slide-2208399>. Acesso em: 15 Maio 2021

CLASS 3 electric platform beast. 2021. Bollinger Motors. Disponível em: < https://bollingermotors.com/bollinger-chass-e/>. Acesso em: 20 Abril 2021

DELGADO, Fernanda. et al. Carros elétricos. **FGV ENERGIA**. Rio de Janeiro. 2017. n. 7. p. 13. Mai. 2017. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19179/Caderno%20Carros%20Eletricos-FGV-BOOK%20VFINAL.pdf>. Acesso em: 23 outubro 2021

DENATRAN. Estatísticas DENATRAN. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-denatran>. Acesso em: 20/04/2021

DEQIANG, S.; WEIHONG, Z.; YANBIN, W. **Mean out-of-plane dynamic plateau stresses of hexagonal honeycomb cores under impact loadings**. Composite Structures, v. 92, p. 2609-2621, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263822310001200>. Acesso em: 02 Outubro 2021

DIRECT Metal Printing (DMP). WhiteClouds. 2021. Disponível em: < https://www.whiteclouds.com/3DPedia/dmp/ >. Acesso em: 30 Outubro 2021

Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E. & Emadi, A. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles** - Fundamentals, Theory, and Design. 1 ed. CRC Press LLC. 2015.

EIDEH, Omar Abu; MAMBRETTI, Massimo. **Como funcionam os motores dos carros elétricos?**. Motorshow. 2019. Disponível em: < https://motorshow.com.br/como-funcionam-os-motores-dos-carros-eletricos/ >. Acesso em: 22 Maio 2021

ELLIOTT, Hanna. **The tesla fire is a textbook pr problem - and they should fix it**. Forbes. 2013. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/hannahelliott/2013/10/03/the-tesla-fire-is-a-textbook-pr-problem-and-they-should-fix-it/?sh=19e5198d6ead>. Acesso em: 08 Maio 2021

Equipe Fórmula FEI. Edital processo seletivo 1/2017 (elétrica). 2017. 13 f. Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo. Disponível em: < https://fei.edu.br/sites/portal/2017/formula/eletrica_ps_formula.pdf >. Acesso em: 10 Maio 2021

E-SHUTTLE. Ree auto. 2021. Disponível em: < https://ree.auto/segments/e-shuttle/>. Acesso em: 22 Maio 2021

FERREIRA, José P.; DIAS, Márcio J. Veículos Elétricos e Híbridos: História e Perspectivas para o Brasil. **Revista Processos Químicos**, v. 14, n. 28, p. 139-147, 24 abr. 2021. Disponível em: <http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/610>. Acesso em: 16 outubro 2021

FERNÁNDEZ, Antonio. El sucesor del Volkswagen Phaeton estará inspirado en el I.D. Vizzion. Motores. 2018. Disponível em: <https://www.motor.es/noticias/sucesor-volkswagen-phaeton-201849500.html>. Acesso em: 12 Maio 2021

FNQ - Fundação Nacional da Qualidade. **Benchmarking**. 2015. Disponível em: <https://fnq.org.br/comunidade/e-book-14-benchmarking/>. Acesso em: 10 outubro 2021

EURO NCAP – **Side pole impact .** 2001 . Disponível em: < https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/lateral-impact/side-pole/>. Acesso em 10 outubro 2021

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK R. Fundamentos de Física. 8.ed., Rio de Janeiro: LTC, 2011. v.3.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2010.

HUSAIN, Iqbal: **Electric and Hybrid Vehicles:** Design fundamentals. Boca Raton: CRC Press LCC, 2003. 270p.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Sobre veículos elétricos.** Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <http://www.inee.org.br/veh_sobre.asp?Cat=veh>. Acesso em: 16 outubro 2021.

JESUS, Eduardo Rosa de; et al. **As características da gestão de custos nas organizações do extremosul catarinense**. 2015. Foz do Iguaçu: XXII Congresso Brasileiro de Custos. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3988/3989>. Acesso em: 06 Novembro 2021

JONES, N. **Structural impact**. 1 ed. Melbourne: Cambridge University Press, 1997.

KARAGIOZOVA, D.; ALVES, M.; JONES, N. Inertia effects in axisymmetrically de-formed cylindrical shells under axial impact. **International Journal of Impact Engineering**, v. 24, n. 10, p. 1083-1115, 2000.

KARAGIOZOVA, D; JONES, N. On the mechanics of the global bending collapse of circular tubes under dynamic axial load: Dynamic buckling transition. **International Journal of Impact Engineering**, v. 35. p.397-424. 2008.

MACHADO, Ari de Paula. Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono. São Paulo: Viapol, 2009. Disponível em: < http://viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf >. Acesso em: 25 Abril 2021

MALEN, Donald E. **Fundamentals of automobile body structure design.** SAE International. 2011.

MERAN, A. P.; TOPRAK, T.; MUĞAN, A. **Numerical and experimental study of crashworthiness parameters of honeycomb structures**. Thin-Walled Structures, v. 78, p. 87-94, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823113003340>. Acesso em: 02 Outubro 2010

MID-MILE delivery. Ree auto. 2021. Disponível em: < https://ree.auto/segments/mid-mile-delivery/>. Acesso em: 22 Maio 2021

NOCE, Toshizaemom. **Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. 2009. 127 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf>. Acesso em: 15 outubro 2021

RADU, Vlad. **Analyzing the 'Skateboard' Architecture of the Rivian R1T and R1S. Autoevolution**. 2020. Disponível em: < https://www.autoevolution.com/news/analyzing-the-skateboard-architecture-of-the-rivian-r1t-and-r1s-152013.html>. Acesso em: 15 Maio 2021

RIBEIRO, B. H. de Castro; BARROS, D. C; VEIGA, S. G. **Baterias automotivas**: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global. 2013. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. p. 489-494. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1511>. Acesso em: 18 Outubro 2021

ROTA 2030. O que é o Rota 2030? Fi Group. 2021. Disponível em: <https://www.rota2030.com.br/rota-2030-inovacao/>. Acesso em: 08 Abril 2021

PERESTRELO, Leandro; BARRETO, Marco Antônio Zanussi. **16° Simpósio SAE Brasil de powertrain.** 2018.

PAIK, Jeom Kee; THAYAMBALLI Anil K.; KIM Gyu Sung. **The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels**. 1999. Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, South Korea.; Chevron Shipping Co., San Francisco, CA 94105, USA. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263823199000269> Acesso em: 06 novembro 2021

ROOT, Michael. The TAB Battery Book. s.l. : Mc Graw Hill, 2001.

RODRIGUES, M. T. **Otimização ao Impacto de Estruturas do Tipo Honeycomb via Função de Base Radial**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2019.

SANGWOOK, Seo; DOOHYEOK, Sim. JINKYU, Min. **The study of Side Structure Optimization of the SUV for New Side NCAP tests**. 2013. Disponível em: < https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/23/files/23ESV-000095.PDF >. Acesso em: 15 Maio 2021

SANTOS, David Mendes dos. **Caracterização mecânica da liga AlSi10Mg obtida por SLM para aplicação em componentes automóveis**. 2014. Mestrado em Engenharia Automóvel - Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria. Leiria, 2014.

SCHALTZ, E. **Electrical Vehicle Design and Modeling**. 2011. 24 f. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/show/title/electric-vehicles-modelling-and-simulations>. Acesso em: 25 Setembro 2021

SETIAWAN, Rachman; SALIM, Mohammad Rusyad. **Crashworthiness Design for an Electric City Car against Side Pole Impact**. 2017. Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung - Bandung, Indonesia. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322434717_Crashworthiness_Design_for_an_Electric_City_Car_against_Side_Pole_Impact Acesso em: 04 abril 2021

SHAH, Hafriz. **New BMW i3 – can its carbon-fibre panels be repaired?** 2013. Paultan. Disponível em: < https://paultan.org/2013/08/06/new-bmw-i3-can-its-carbon-fibre-panels-be-repaired/>. Acesso em: 12 maio 2021

SINEK, Simon. **Por Quê? - Como Grandes Líderes Inspiram Ação**. 1. ed. Saraiva. 2012.

STOY, Andy. **Carbon core: 2016 BMW 7-series gets carbon-fiber implants**. 2015. Autoweek. Disponível em: < https://www.autoweek.com/news/a1868071/carbon-core-2016-bmw-7-series-gets-carbon-fiber-implants/>. Acesso em: 15 Maio 2021.

TYRRELL, Michael. **Electric vehicle on fast track to the next Generation**. 2018. Composites in manufacturing. Disponível em: < https://www.composites.media/williams-advanced-engineering-fw-evx-electric-vehicle/ >. Acesso em: 12 maio 2021

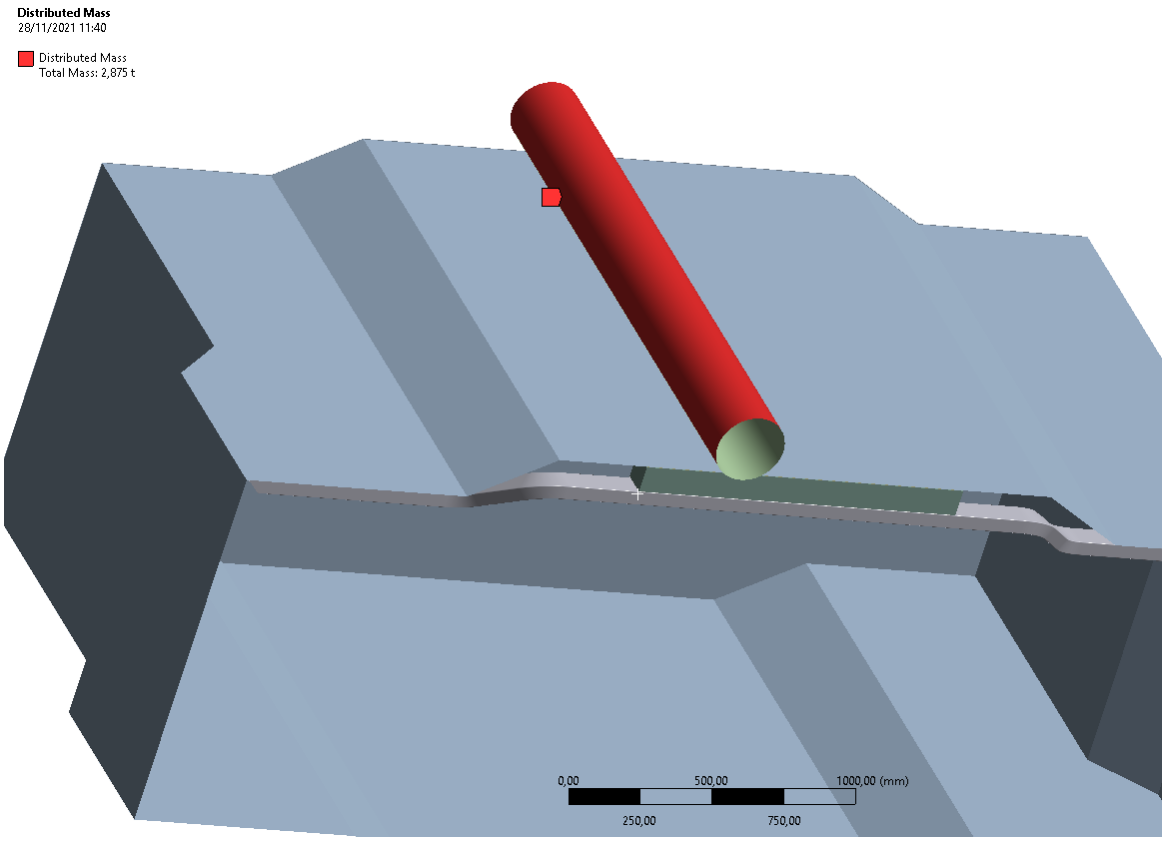
VOLPATO, Neri et al. **Manufatura Aditiva:** Tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2017.

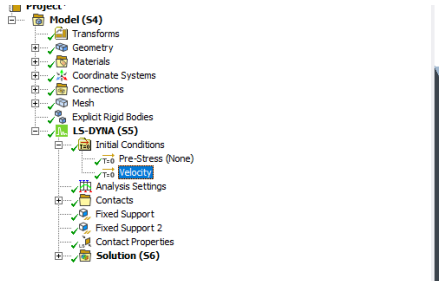
WILLSTRAND, Ola; ROSENGREN, Max. **Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events**. 2020. Department of Safety Research, RISE Research Institutes of Sweden - Bora’s, Suécia. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-020-01038-1. Acesso em: 03 abril 2021

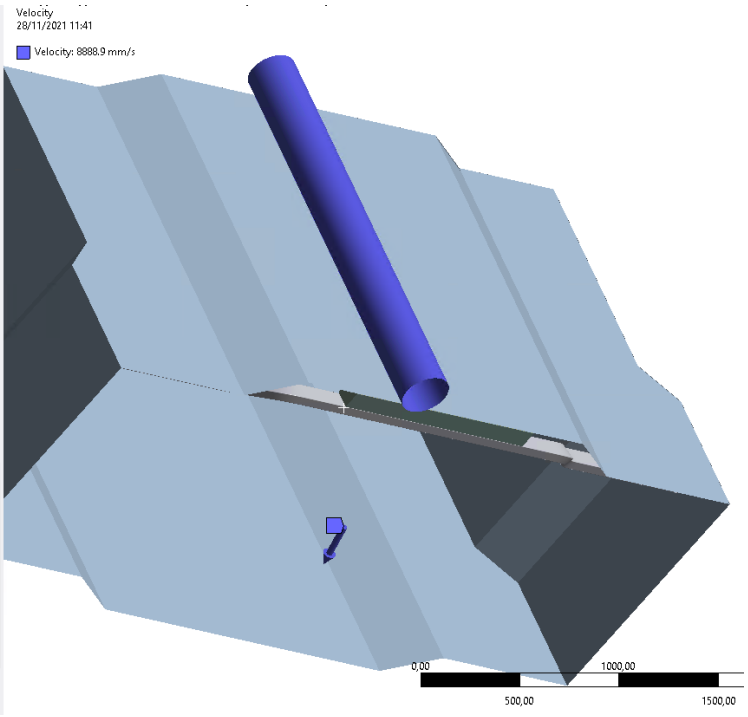
YUKI, S. Estrutura honeycomb. 2013. Flickr. Disponível em: < https://www.flickr.com/photos/54817657@N00/9877572716>. Acesso em: 27 Abril 2021

ANEXOS

ANEXO A - SIMULAÇÕES

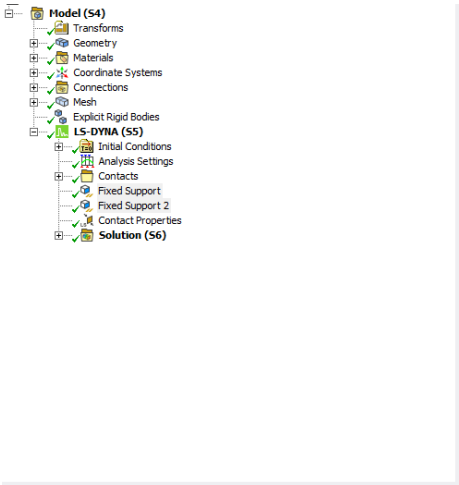






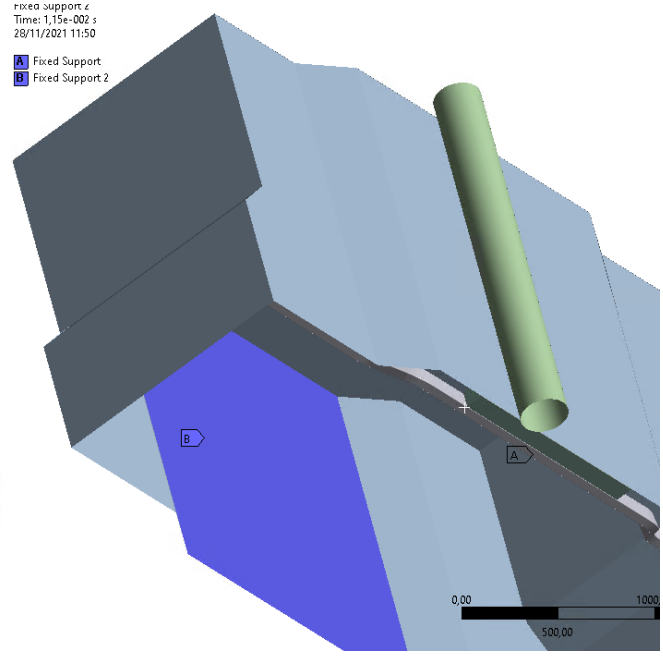
Details of "Velocity"

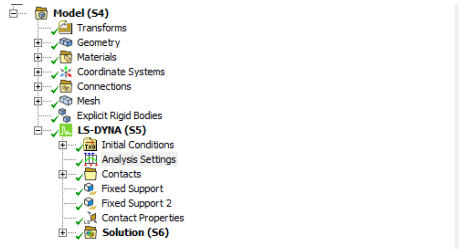
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Input Type	Velocity
Pre-Stress Environment	None Available
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	-8888,9 mm/s
Y Component	0, mm/s
Z Component	0, mm/s
Suppressed	No



Details of "Multiple Selection"

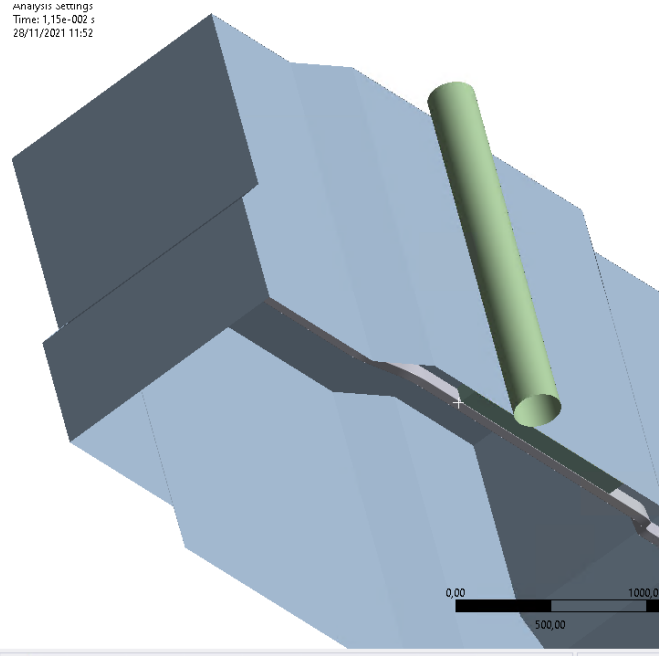
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
Definition	
Type	Fixed Support
Suppressed	No

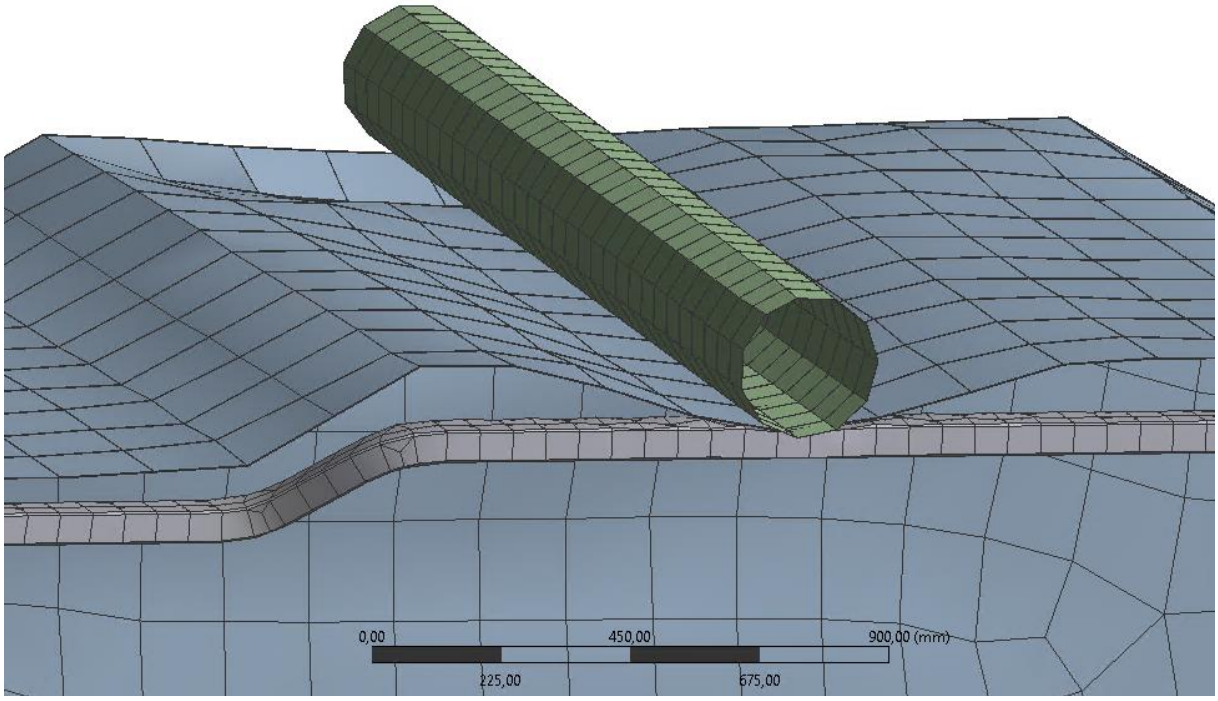


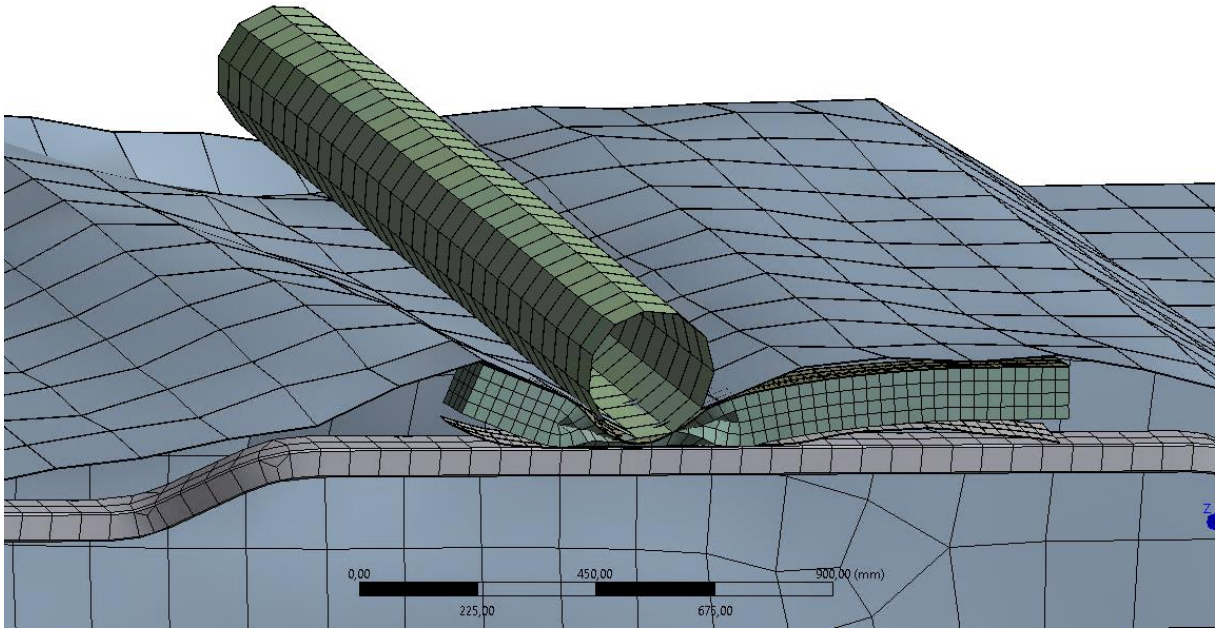


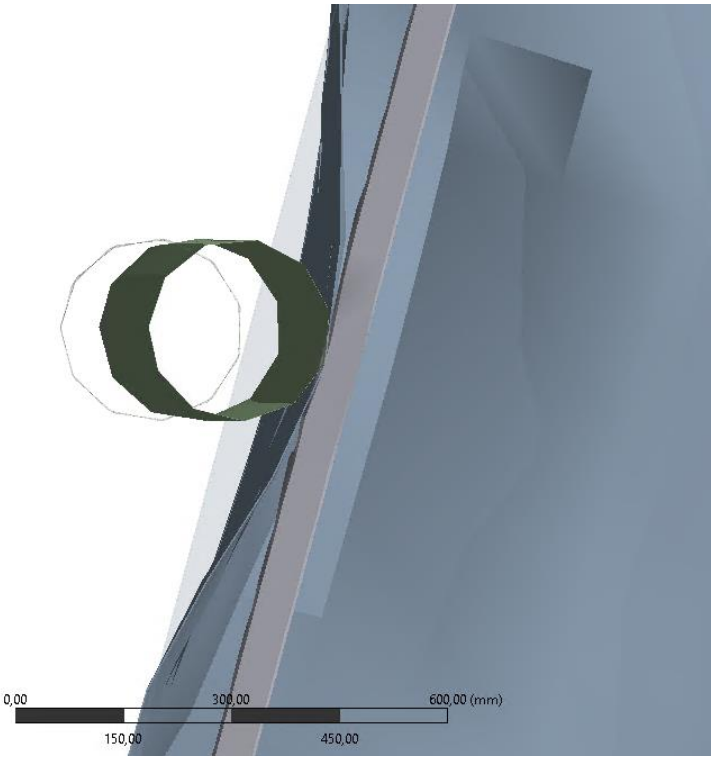
Details of "Analysis Settings"

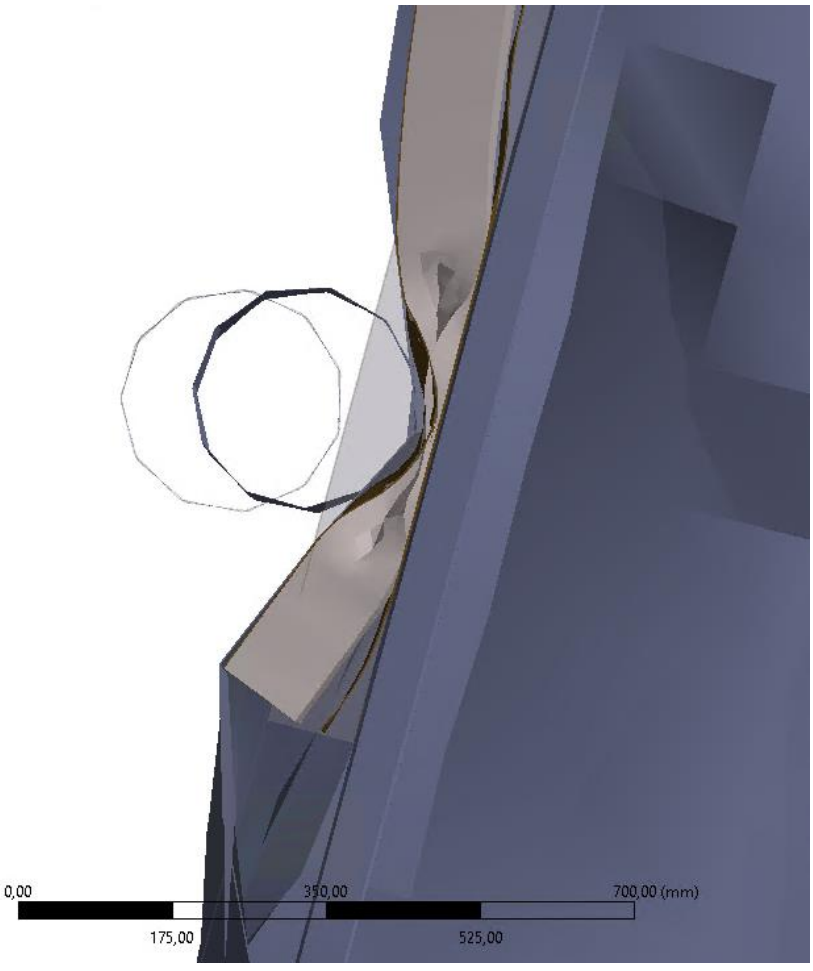
Step Controls	
End Time	0,0115 s
Time Step Safety Factor	0,9
Maximum Number Of Cycles	500000000
Automatic Mass Scaling	No
CPU and Memory Management	
Memory Allocation	Manual
--- Value(MB)	2000
Number Of CPUS	1
Processing Type	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Solver Precision	Program Controlled
Unit System	nmm
Invariant Node Numbering	Off
Second Order Stress Update	No
Solver Version	Program Controlled
Initial Velocities	
Initial Velocities are applied immediately	Yes
Damping Controls	
Hourglass Controls	
Hourglass Type	Program Controlled
LS-DYNA ID	0

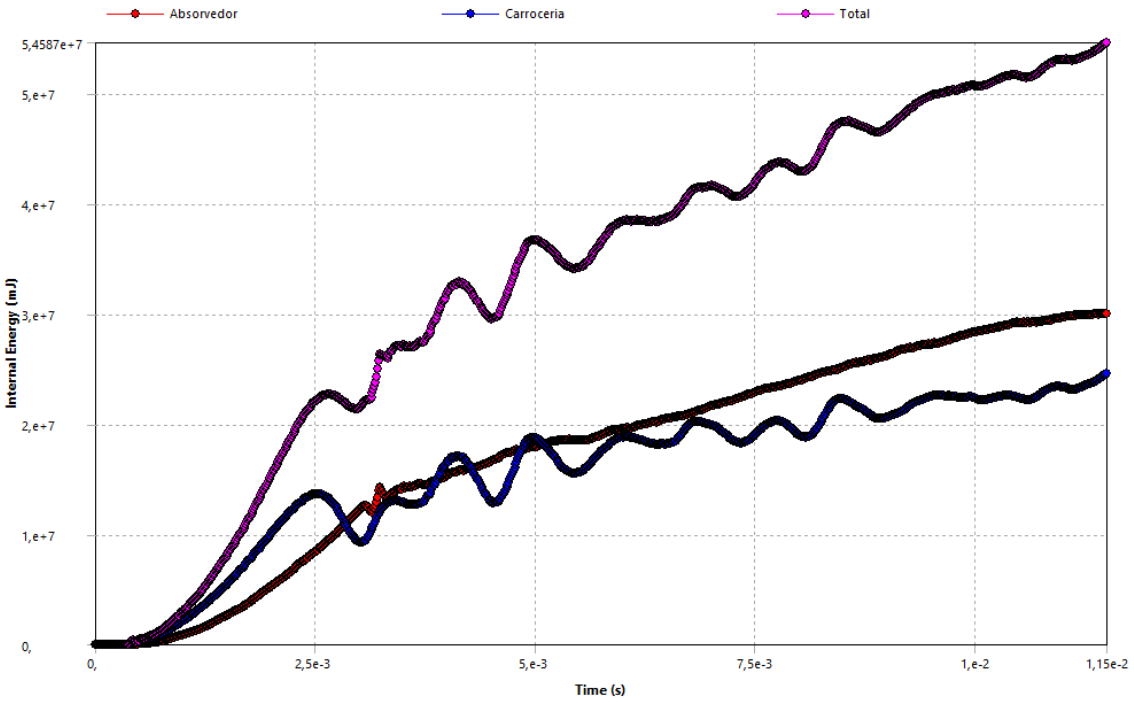



0,00
450,00
900,00 (mm)
225,00
675,00

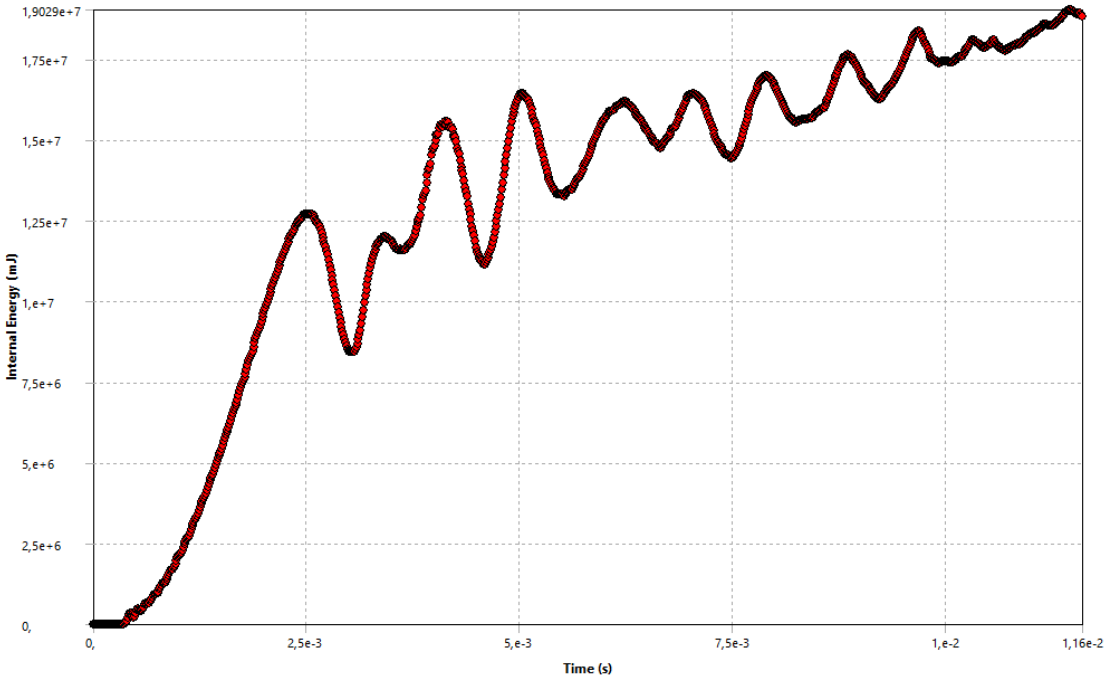

0,00
450,00
900,00 (mm)
225,00
675,00


0,00
300,00
600,00 (mm)
150,00
450,00

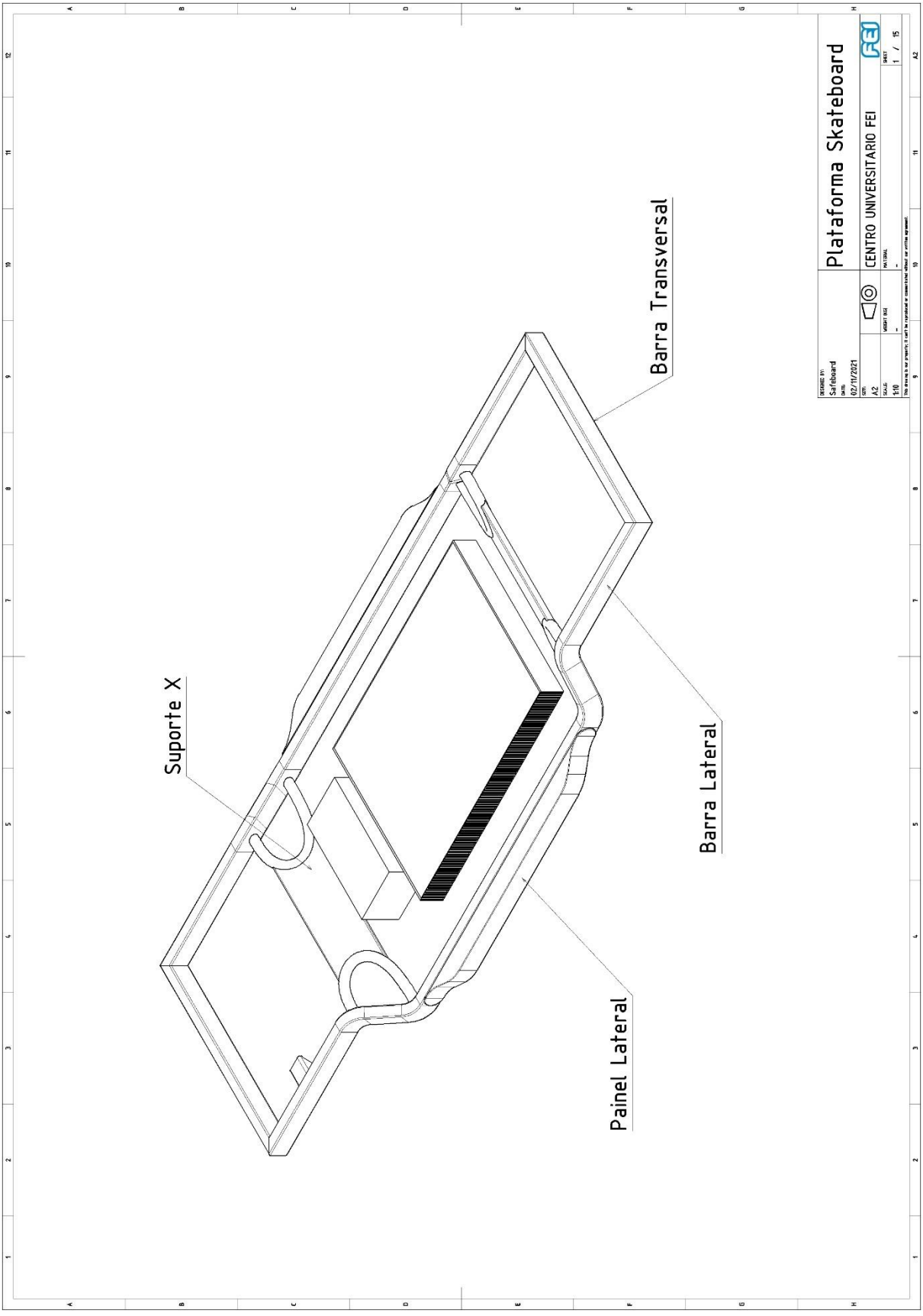

0,00
350,00
700,00 (mm)
175,00
525,00

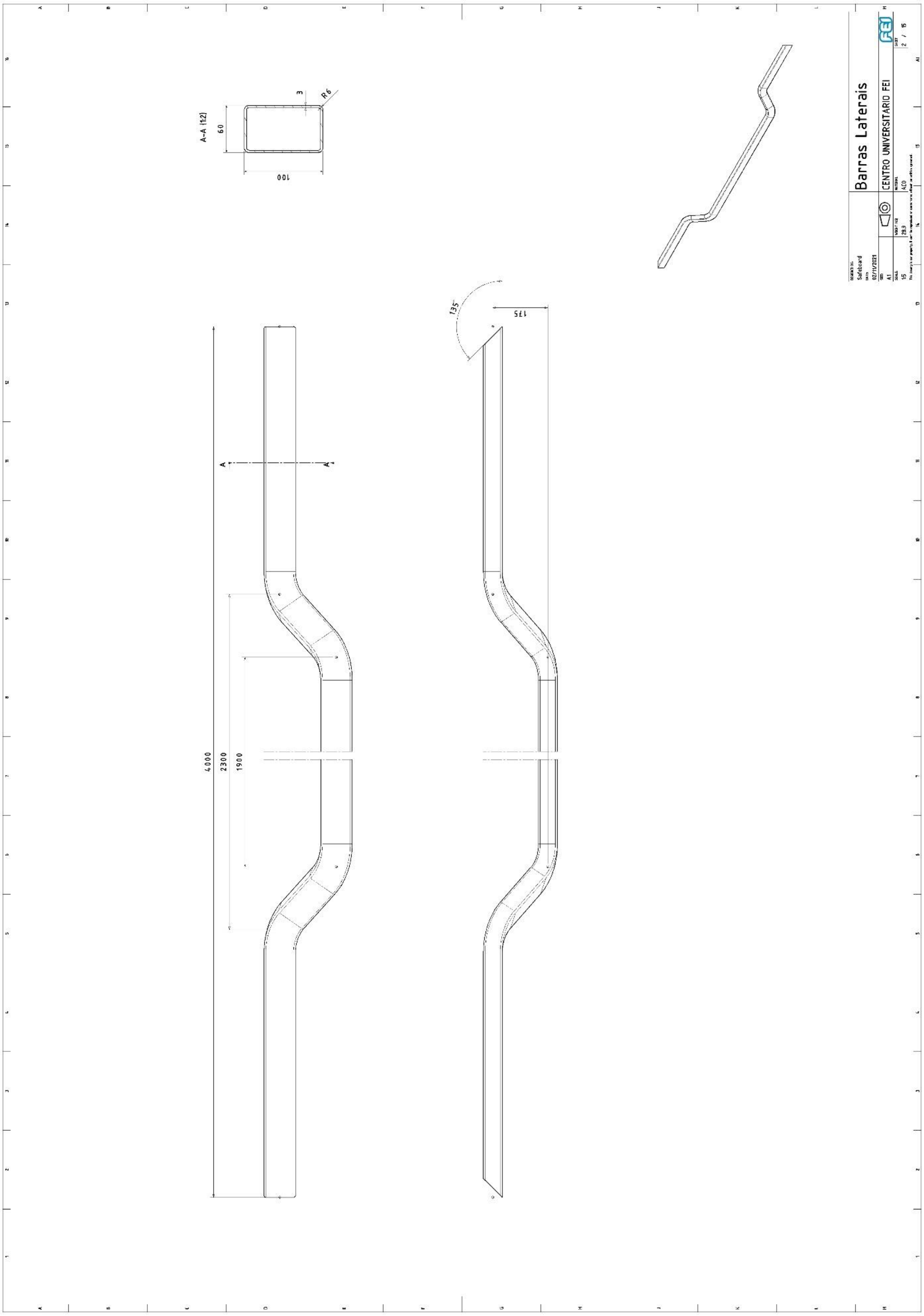

Absorvedor
Carroceria
Total
5,4587e+7
5,e+7
4,e+7
3,e+7
2,e+7
1,e+7
0,
Internal Energy (mJ)
0,
2,5e-3
5,e-3
7,5e-3
1,e-2
1,15e-2
Time (s)

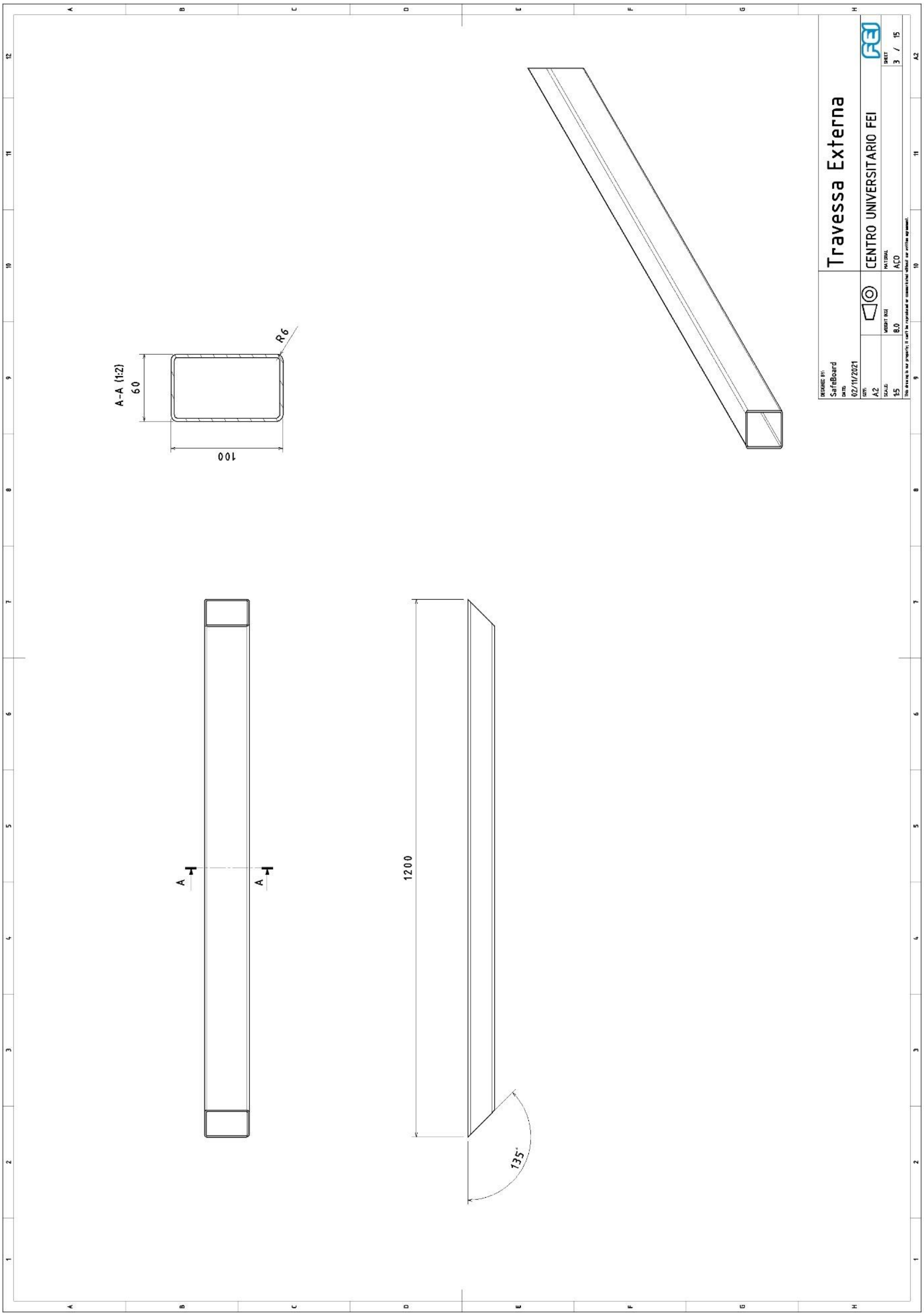
Carroceria

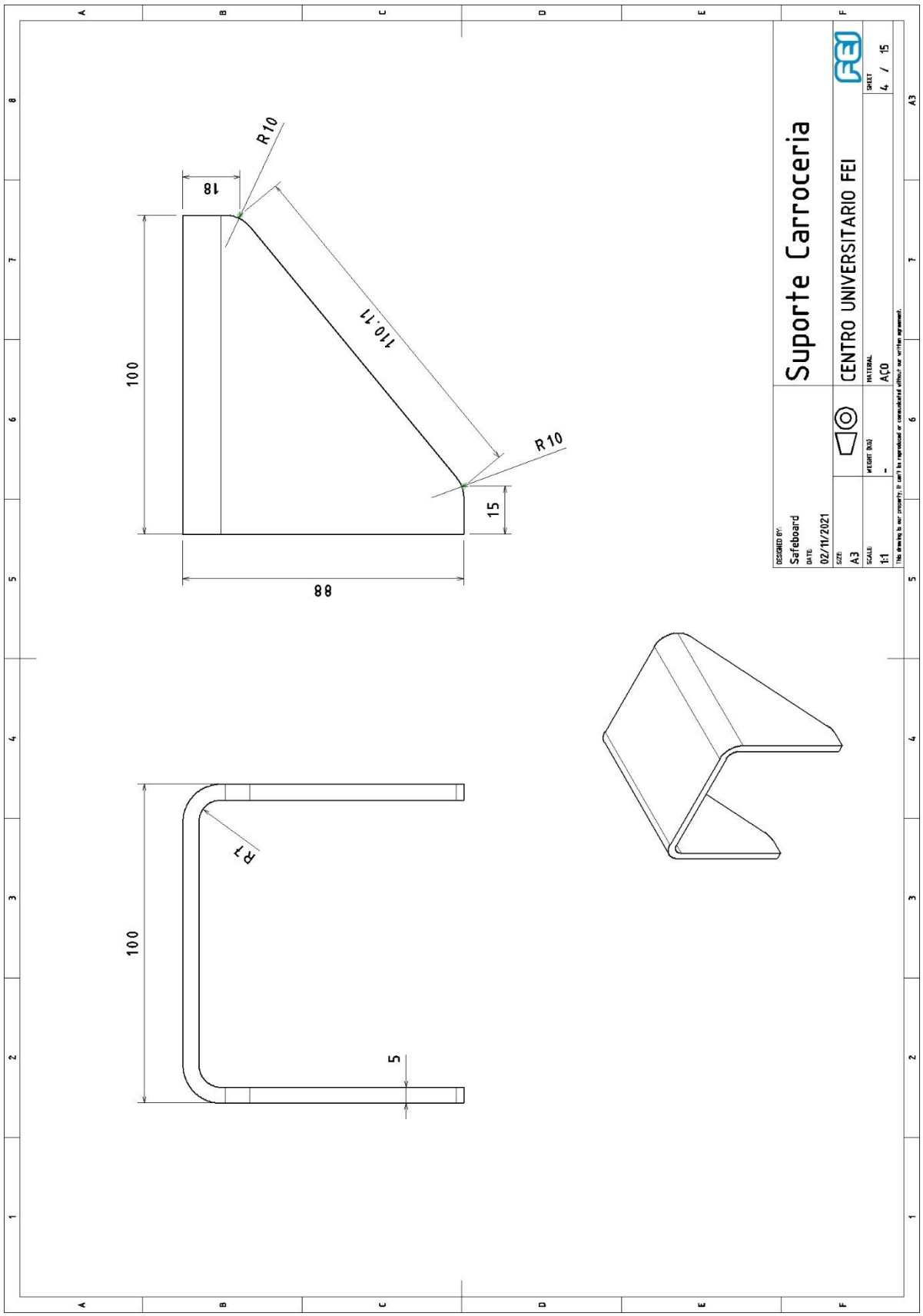

1,9029e+7
1,75e+7
1,5e+7
1,25e+7
1,e+7
7,5e+6
5,e+6
2,5e+6
0,
Internal Energy (mJ)
0,
2,5e-3
5,e-3
7,5e-3
1,e-2
1,16e-2
Time (s)

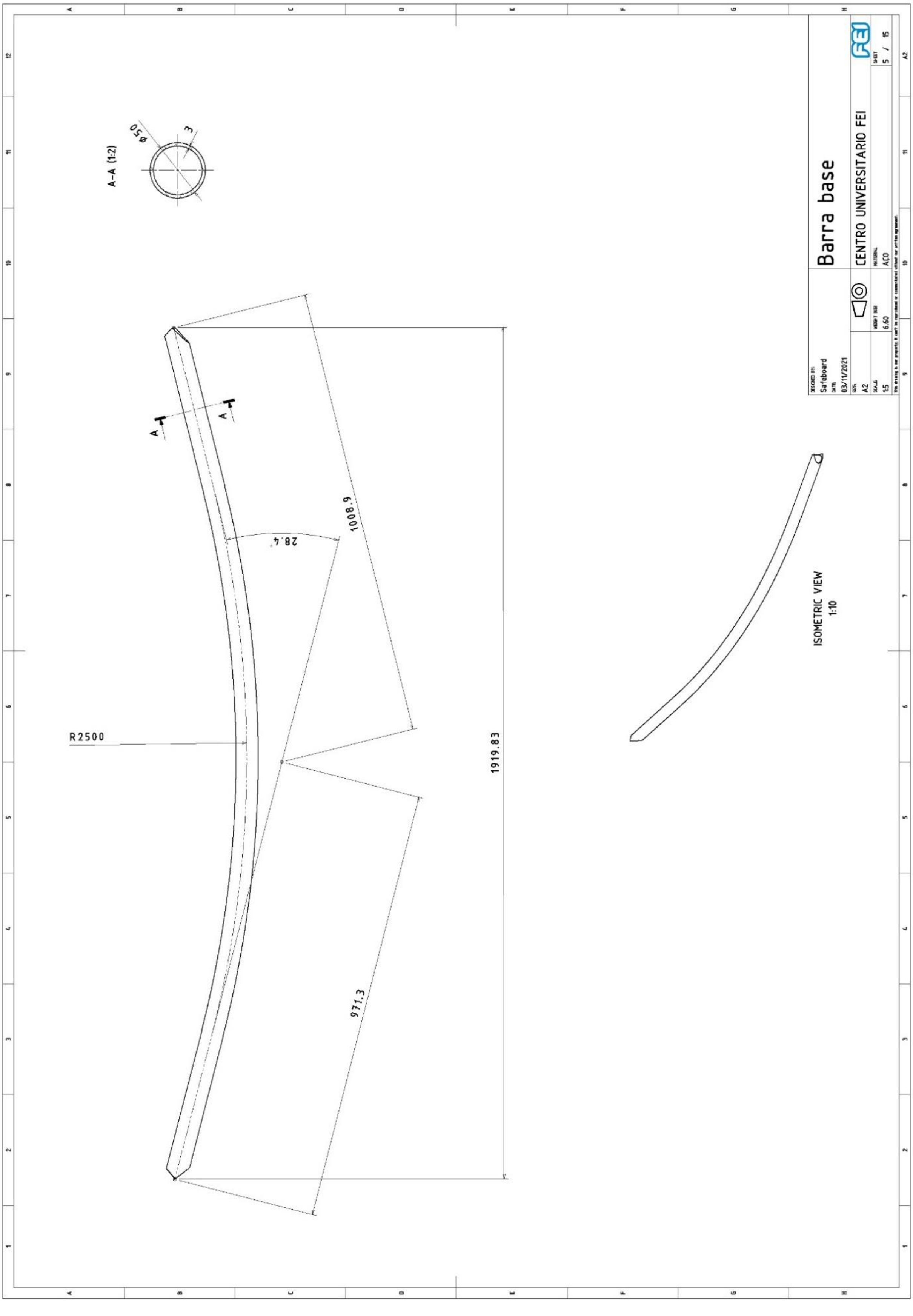
ANEXO B - DESENHOS TÉCNICOS

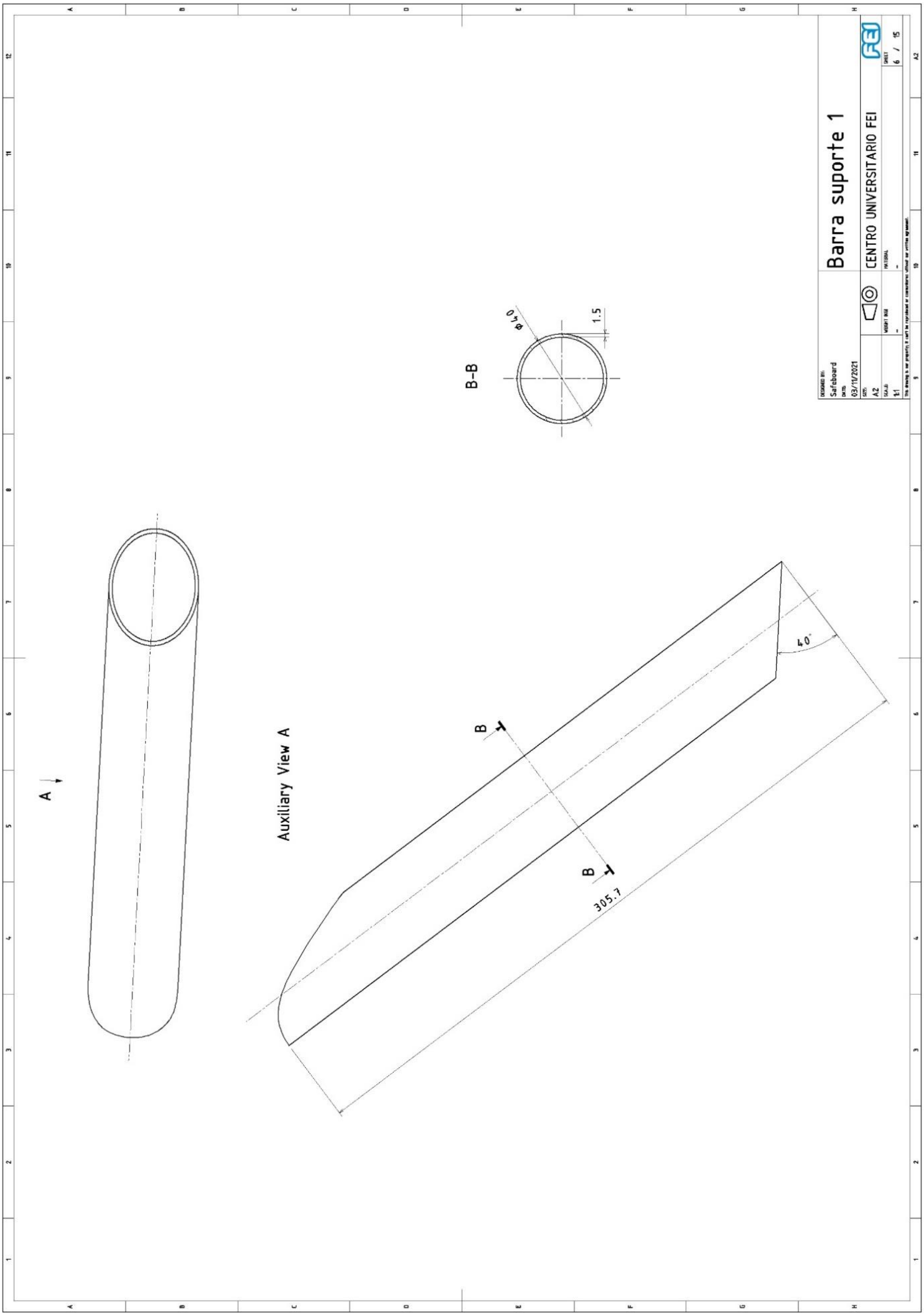


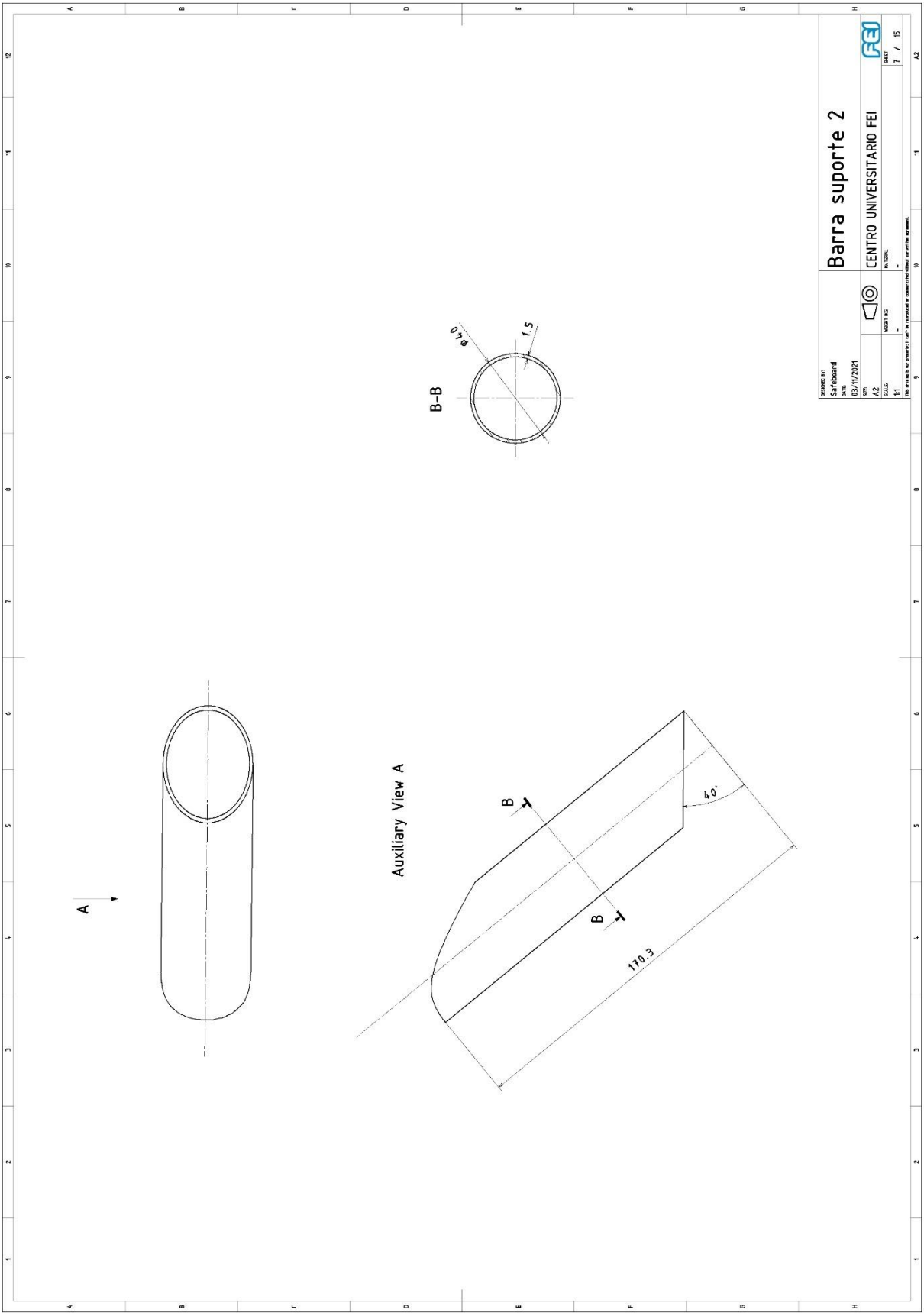

Barras Laterais
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
A-A (1:2)
60
100
3
R6
135°
175
4000
2300
1900
A
A
2 / 15

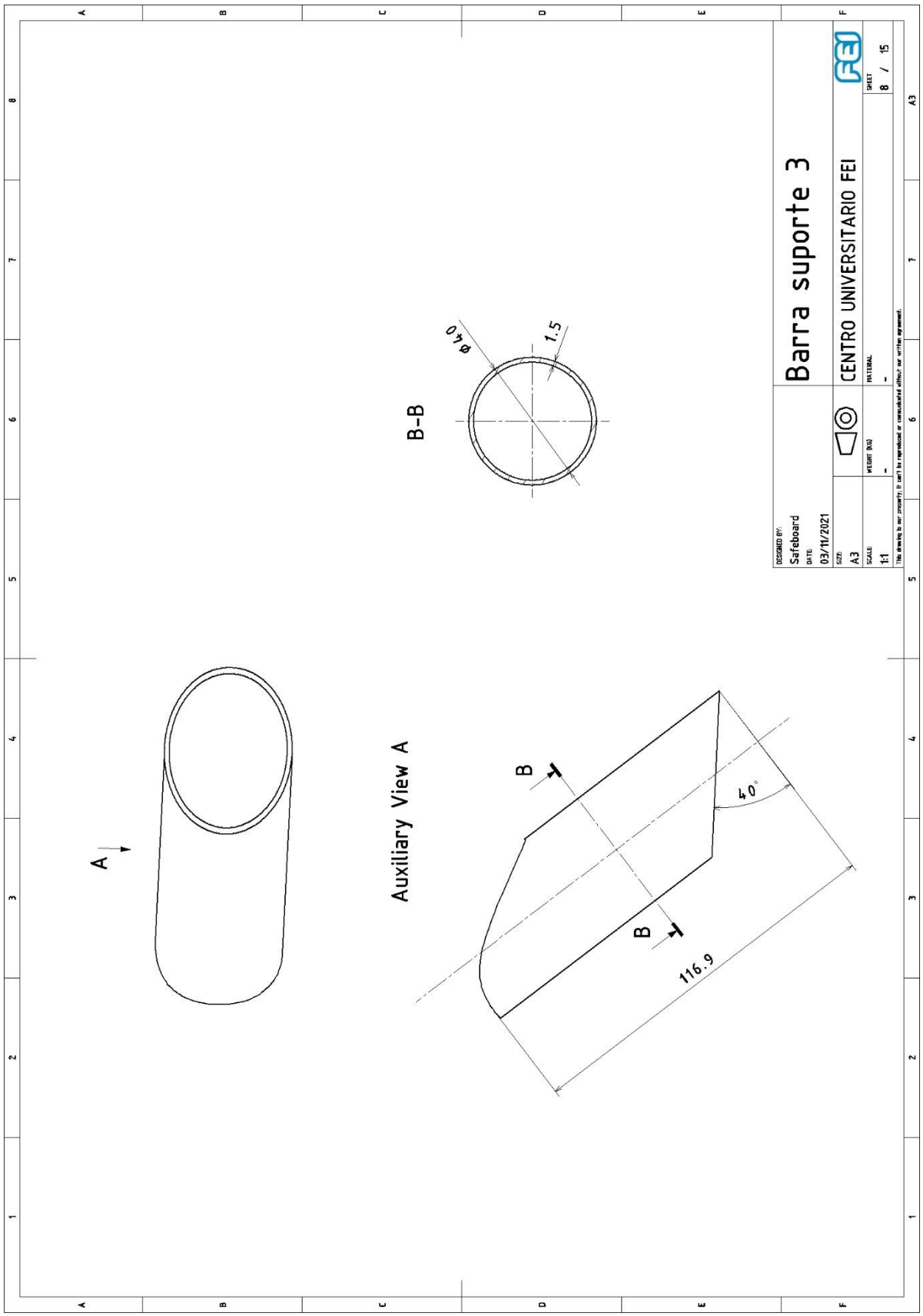

Travessa Externa
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY:
SafeBoard
DATE:
02/11/2021
SIZE:
A2
SCALE:
1:5
WEIGHT (kg):
8,0
MATERIAL:
AÇO
SHEET
3 / 15
A-A (1:2)
60
100
R6
A
A
1200
135°

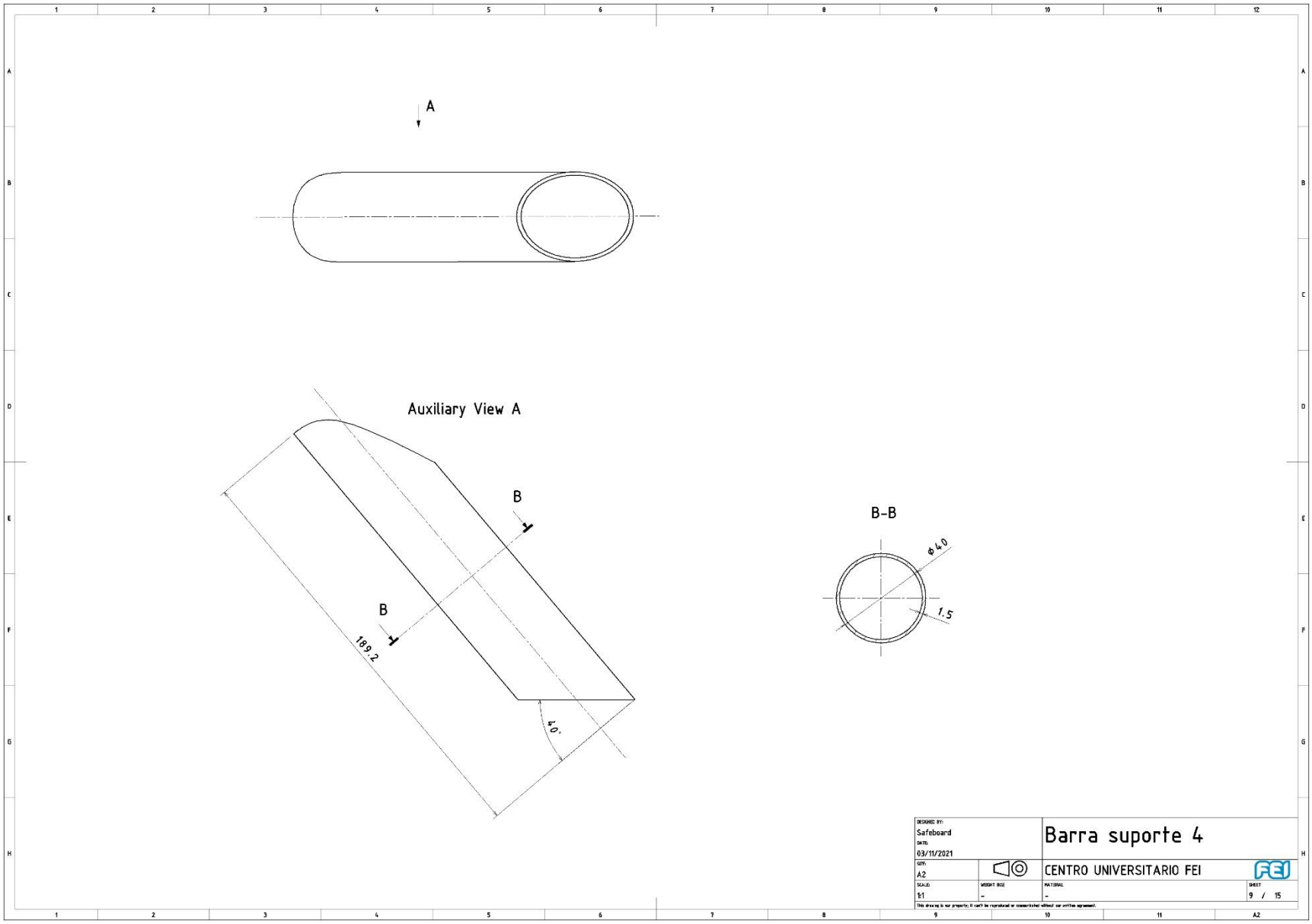

R10
18
110.11
100
R10
15
88
R1
100
5
Suporte Carroceria
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY:
Safeboard
DATE:
02/11/2021
SIZE:
A3
SCALE:
1:1
WEIGHT (KG)
-
MATERIAL:
AÇO
SHEET
4 / 15
This drawing is our property. It can't be reproduced or consulted without our written agreement.

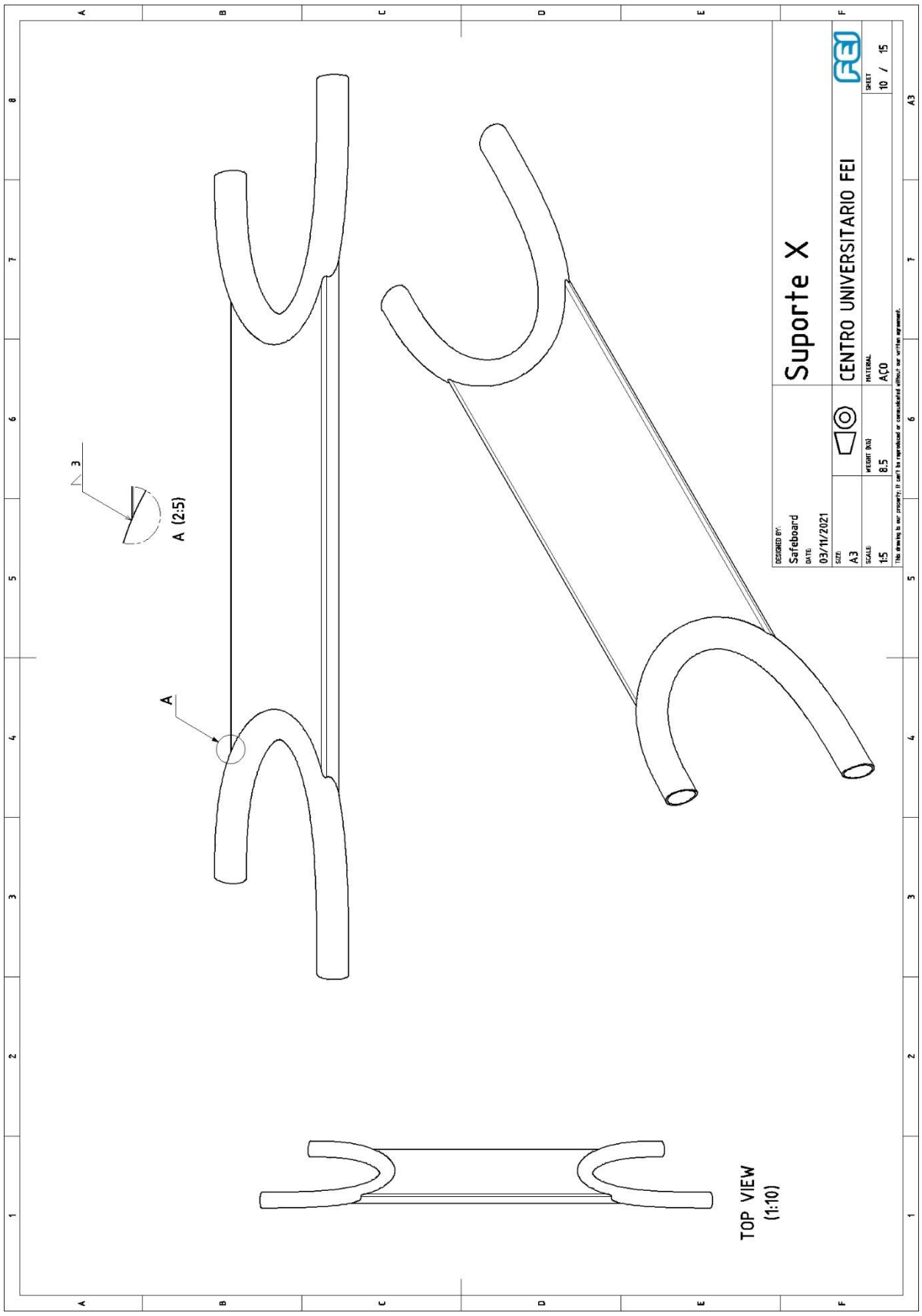

Barra base
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY: Safeboard
DATE: 03/11/2021
SIZE: A2
SCALE: 1:5
WEIGHT (KG): 6.60
MATERIAL: AÇO
SHEET 5 / 15
A-A (1:2)
ø50
3
A
R2500
28.4°
1008.9
1919.83
971.3
ISOMETRIC VIEW
1:10

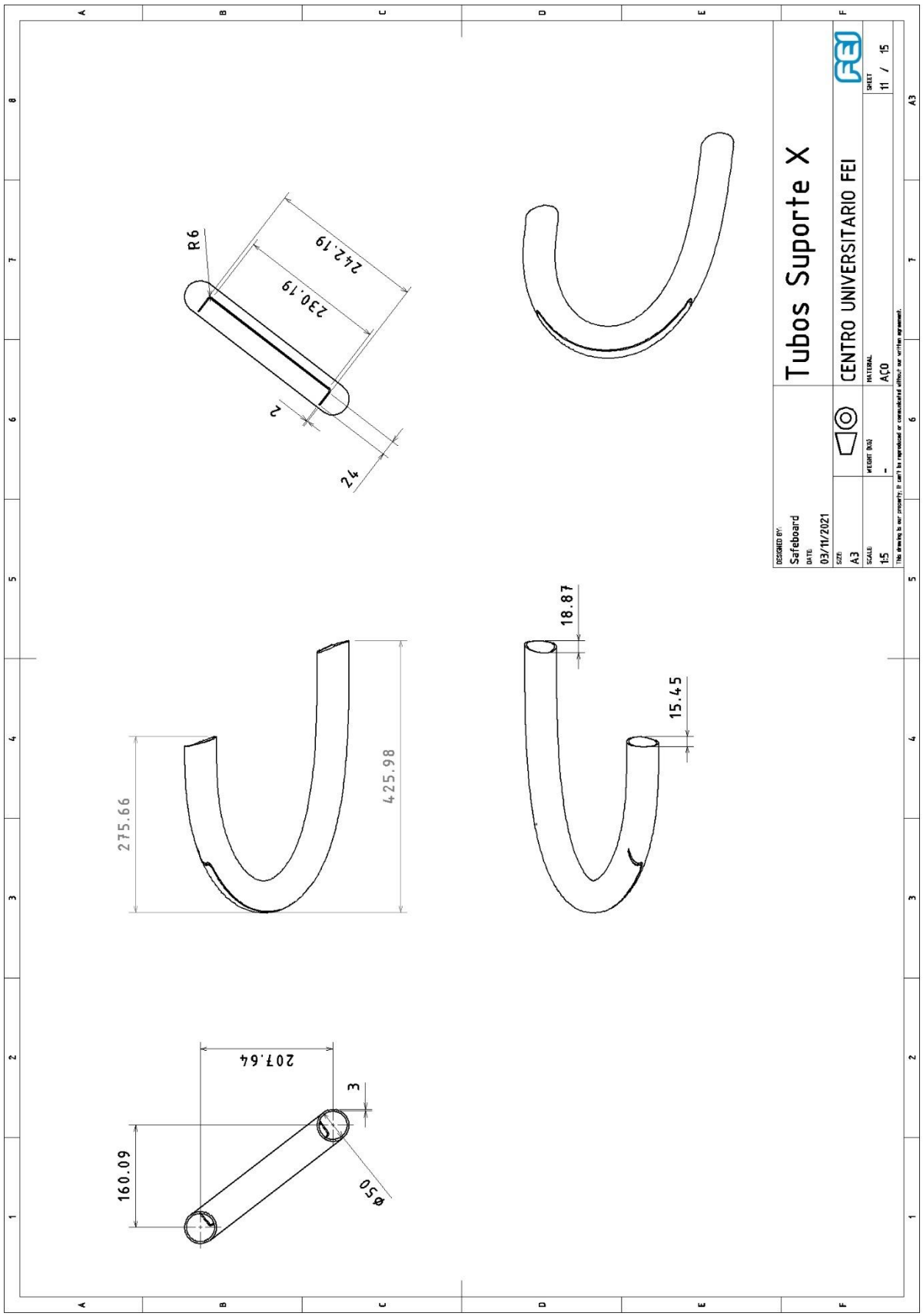

Barra suporte 1
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
Safeboard
03/11/2021
A2
1:1
6 / 15
B-B
Ø40
1.5
Auxiliary View A
A
B
B
305.7
40°

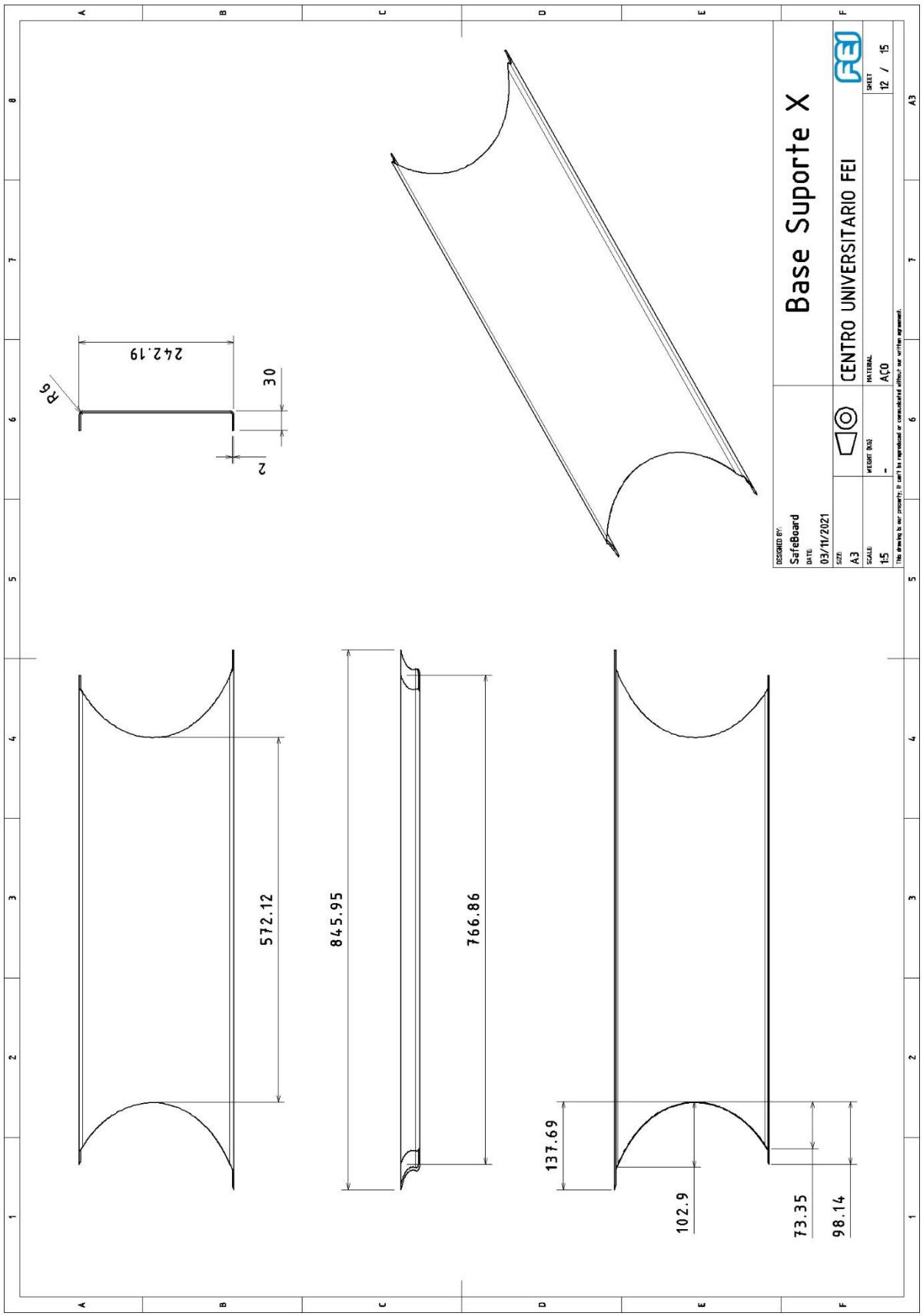

B-B
Ø40
1.5
A
Auxiliary View A
B
B
40°
170.3
Barra suporte 2
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
Saf'eduard
03/11/2021
A2
1:1
7 / 15

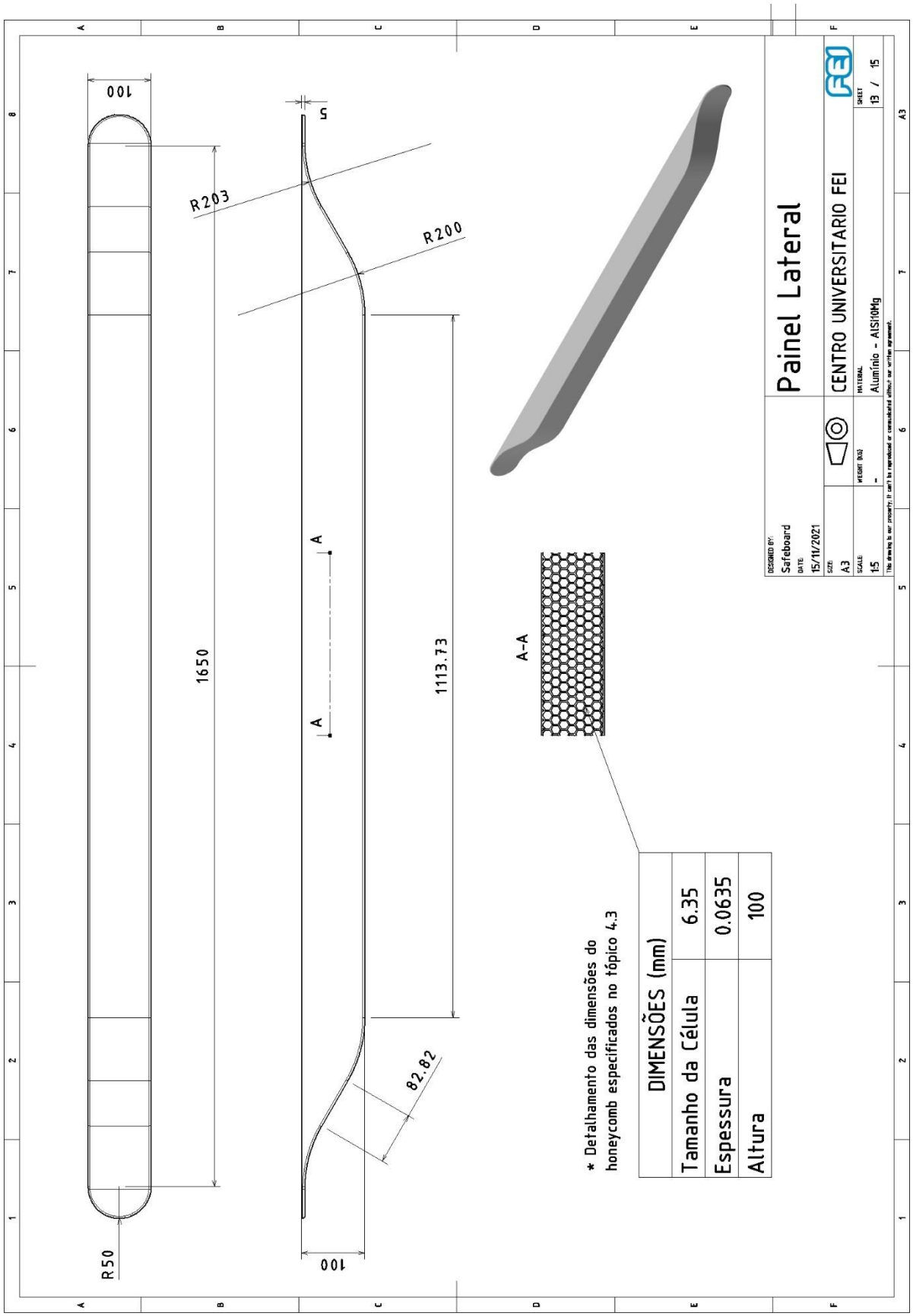

Barra suporte 3
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY:
Safeboard
DATE
03/11/2021
SIZE:
A3
SCALE
1:1
WEIGHT (KG)
-
MATERIAL
-
SHEET
8 / 15
This drawing is our property. It can't be reproduced or consulted without our written agreement.
B-B
Ø40
1.5
A
Auxiliary View A
B
B
40°
116.9

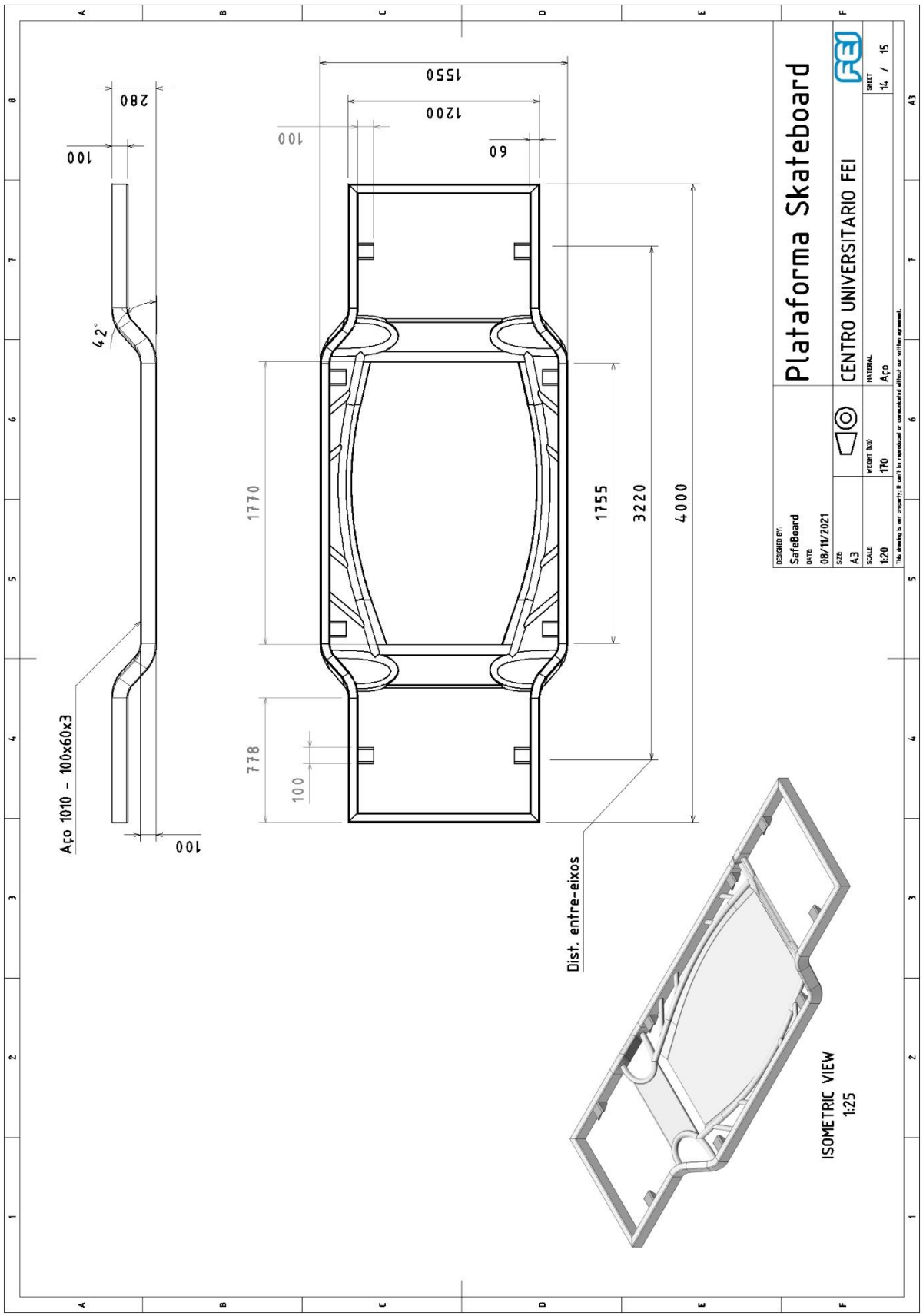

A
Auxiliary View A
B
B
189.2
5.1°
B-B
Ø 4.0
1.5
Barra suporte 4
Safeboard
03/11/2021
A2
1:1
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
9 / 15

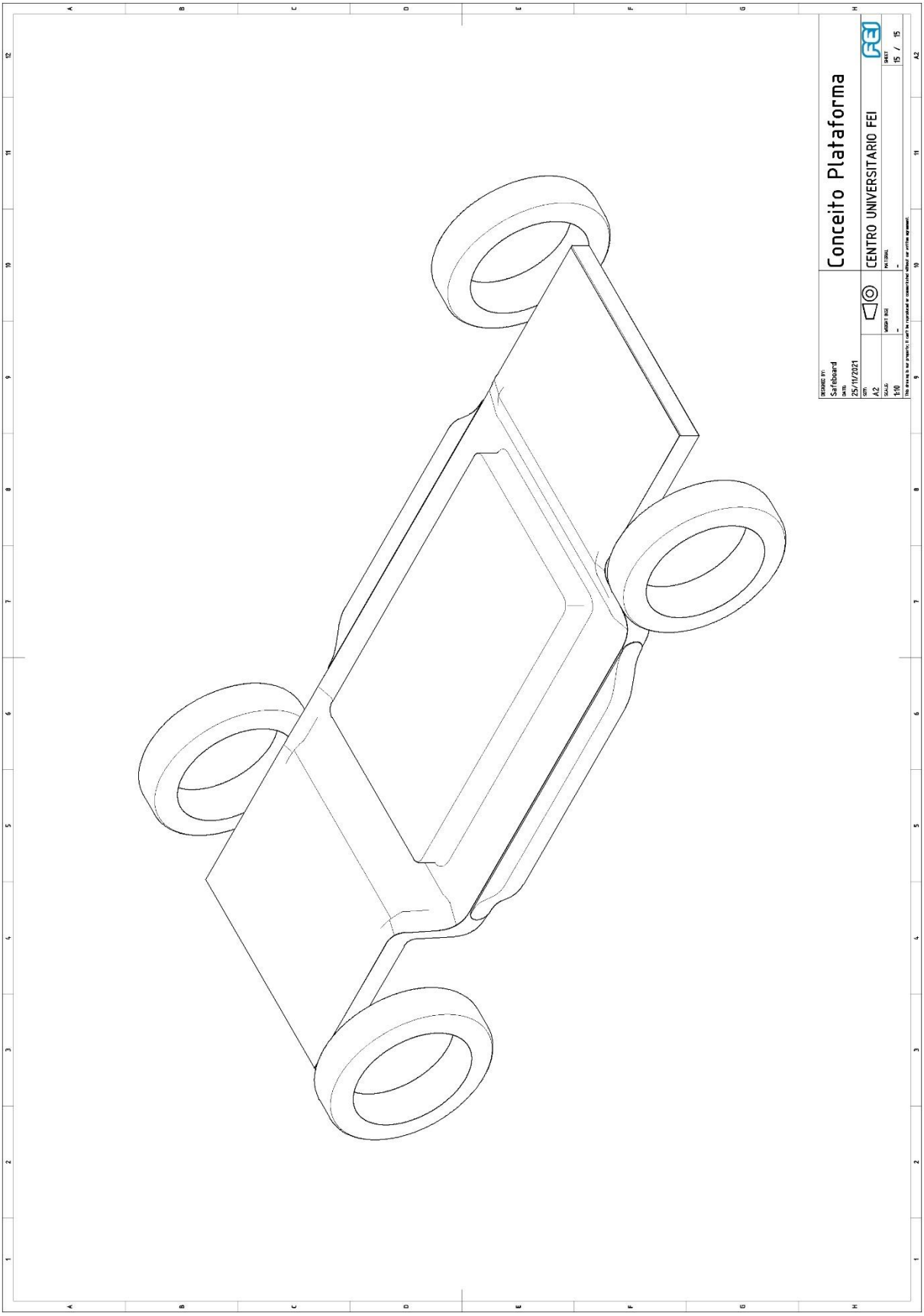

Suporte X
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY:
Safeboard
DATE:
03/11/2021
SIZE:
A3
SCALE:
1:5
WEIGHT (KG)
8.5
MATERIAL:
AÇO
SHEET
10 / 15
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.
A
A (2:5)
3
TOP VIEW
(1:10)


Tubos Suporte X
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY:
Safeboard
DATE:
03/11/2021
SIZE:
A3
SCALE:
1:5
WEIGHT (KG)
-
MATERIAL:
AÇO
SHEET
11 / 15
This drawing is our property. It can't be reproduced or consulted without our written agreement.
R6
242.19
230.19
2
24
18.87
15.45
275.66
425.98
207.64
3
160.09
Ø50


Base Suporte X
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY:
SafeBoard
DATE
03/11/2021
SIZE:
A3
SCALE
1:5
WEIGHT (KG)
-
MATERIAL
AÇO
SHEET
12 / 15
This drawing is our property. It can't be reproduced or consulted without our written agreement.
242.19
30
2
R6
572.12
845.95
766.86
137.69
102.9
73.35
98.14


100
R203
R200
5
1650
1113.73
A
A
A-A
82.82
R50
100
* Detalhamento das dimensões do honeycomb especificados no tópico 4.3
DIMENSÕES (mm)
Tamanho da Célula 6.35
Espessura 0.0635
Altura 100
Painel Lateral
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY: Safeboard
DATE: 15/11/2021
SIZE: A3
SCALE: 1:5
WEIGHT (kg): -
MATERIAL: Alumínio - AlSi10Mg
SHEET 13 / 15
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.

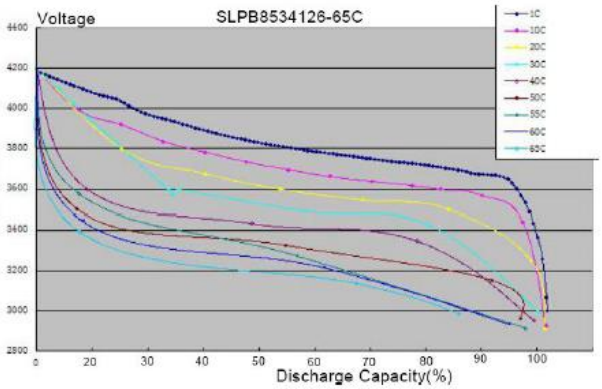

Plataforma Skateboard
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
DESIGNED BY: SafeBoard
DATE: 08/11/2021
SIZE: A3
SCALE: 1:20
WEIGHT (KG): 170
MATERIAL: Aço
SHEET: 14 / 15
This drawing is our property. It can't be reproduced or consulted without our written agreement.
280
100
42°
Aço 1010 – 100x60x3
100
1550
1200
100
60
1770
778
100
1755
3220
4000
Dist. entre-eixos
ISOMETRIC VIEW
1:25


Conceito Plataforma
CENTRO UNIVERSITARIO FEI
Safeboard
25/11/2021
A2
1:10
15 / 15

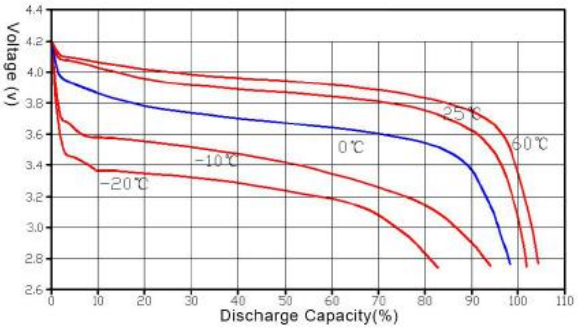
ANEXO C - DATASHEET – BATERIAS MELASTA

Lithium Polymer (Li-Po) Battery
SLPBB042126 (3.7V, 6550mAh 15C)

Different Rate Discharge Curve



Different Temperature Discharge Curve



Specification

Electrical Characteristics	Nominal Voltage	3.7V
	Nominal Capacity	6550mAh
	Energy	24.235Wh
	Internal Resistance	≤1.5mΩ
	Cycle Life	>100 cycles @Charge:0.5C,Discharge:15C 80%DOD
	Months Self Discharge	<3%
	Efficiency of Charge	100% @0.5C
	Efficiency of Discharge	96~99% @1.0C
Standard Charge	Charge Voltage	4.2V
	Charge Mode	0.2C to 4.2V, then 4.2V,charge current to 0.02C_5A (CC/CV)
	Charger Current	1.31A
	Max. Charge Current	2.0C_5A
	Charge Cut-off Voltage	4.2±0.03V
Standard Discharge	Continuous Current	1.31A
	Max.Discharge Current	15C_5A
	Discharge Cut-off Voltage	3.0V
Environmental	Charge Temperature	0℃ to 45℃ @60±25% Relative Humidity
	Discharge Temperature	-20℃to 60℃ @60±25% Relative Humidity
	Storage Temperature	0℃ to 40℃ @60±25% Relative Humidity
	Water Dust Resistance	/
Mechanical	Dimensions (mm.)	L127.0±0.5*W42.0±0.58*T10.2±0.3mm
	Distance between 2 tabs	21±1mm
	Weight (g.)	Approx:126.0±3.0g

Lithium Polymer (Li-Po) Battery
SLPBB042126 (3.7V, 6550mAh 15C)

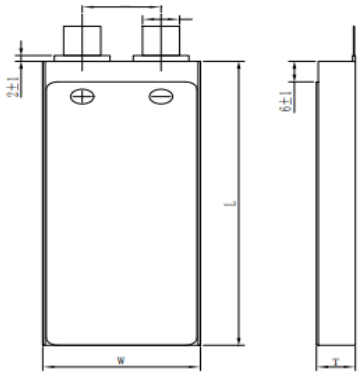
Features of Lithium-Polymer Battery

- **Longer Cycle Life:** Offers up to 20 times longer cycle life and five times longer float/calendar life than lead acid battery, helping to minimize replacement cost and reduce total cost of ownership.
- **Lighter Weight:** About 40% of the weight of a comparable lead acid battery. A 'drop in' replacement for lead acid batteries.
- **Higher Power**: Delivers twice power of lead acid battery, even high discharge rate, while maintaining high energy capacity.
- **Wider Temperature Range:** -20 C~60 C.·
- **Superior Safety:** Lithium Polymer chemistry eliminates the risk of explosion or combustion due to high impact, overcharging or short circuit situation.
- **Increased Flexibility:** Modular design enables deployment with several batteries both in series and in parallel.

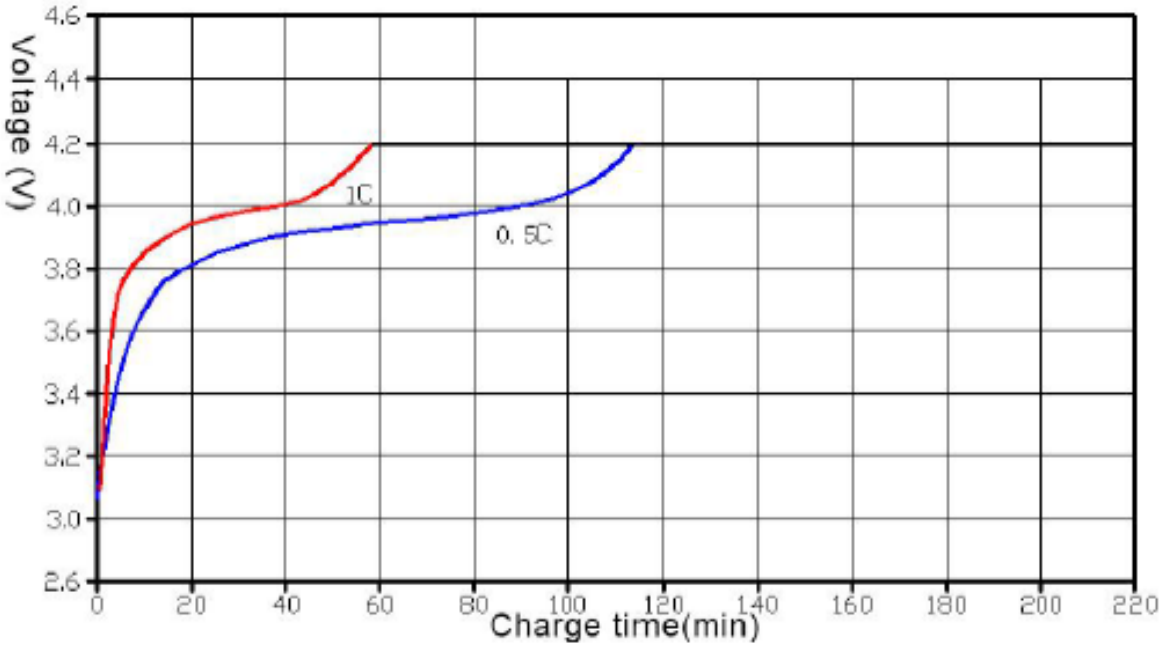
SGS

- **MSDS**
- **UN38.3**
- **CE**
- **FCC**

Physical Dimension



Different Rate Charge Curve



ANEXO D - DATASHEET – WEG – MOTOR ELÉTRICO E INVERSOR DE FREQUÊNCIA

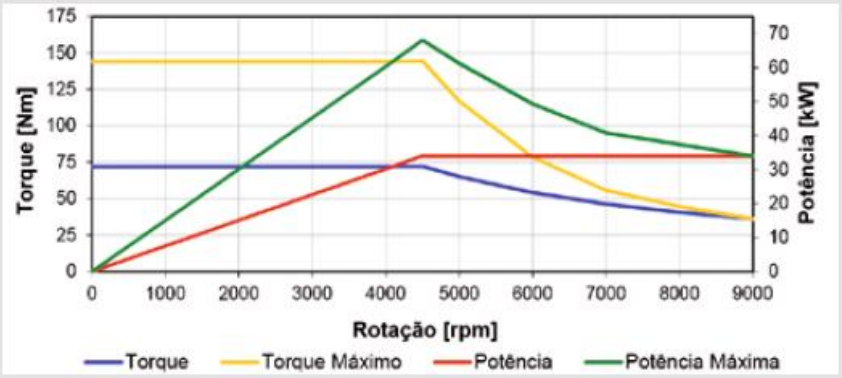
Motor Elétrico para Tração Veicular

Características
- Carcaça: 112
- Potência máxima: 68 kW
- Torque máximo: 144 Nm
- Rotação máxima: 9000 RPM
- Grau de proteção: IP66
- Resfriamento: Água
- 810 W/kg
- Motor de indução trifásico

Vantagens
- Baixo ruído em operação
- Zero emissão de poluentes
- Baixo custo de manutenção
- Torque constante em ampla faixa de torque
- Alta densidade de potência

Aplicação
- Automóveis elétricos

Torque / Potência versus Rotação - Motor de Indução Trifásico



CVW500 - Inversor de Frequência de Tração

É um produto de alta performance que permite o controle de velocidade e torque de motores de indução trifásicos aplicados em veículos elétricos.

- Tensão nominal de alimentação: 200-400 Vcc
- Corrente de saída nominal: 275 Arms
- Corrente de sobrecarga 1 minuto: 550 Arms
- Frequência de chaveamento nominal: 8kHz
- Refrigeração a água
- Alta compactação e densidade de potência
- Algoritmo para controle de motores de indução trifásicos
- Controle escalar (V/f) ou controle vetorial, programáveis no mesmo produto
- O controle vetorial com encoder possibilita alto grau de precisão no acionamento, para toda faixa de velocidade (até motor parado)
- Função frenagem regenerativa incorporada
- Controlador Lógico Programável SoftPLC integrado
- Grau de proteção IP66
- Principais aplicações: micro-ônibus, furgões e caminhões elétricos e híbridos e veículos elétricos leves em geral

ANEXO E - DFMEA

Item	Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Classification	Potential Cause(s) of Failure	Current Design Controls Prevention	Occurrence	Current Design Controls Detection	Detection	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility	Target Completion Date
Frame da plataforma	Estruturar conjunto	Resistir a condições de contorno da aplicação do veículo e às cargas associadas ao seu funcionamento	Falha estrutral do material	Comprometer a integridade mecânica da estrutura e diminuição da vida útil do veículo	10	6	Fadiga	Simulação Computacional, revisão da aplicação, dimensionamento	3	Testes de materias em corpo de prova	2		Calculo estrutural e teste físico de durabilidade	CAD/CAE	set/21
							Corrosão	Proteção superficial	1	Testes de material em corpo de prova	1		P&D de materiais	Técnico	set/21
							Carregamento não previsto em projeto	Informar capacidade maxima de carga	3	Sensor de distrubuição de carga com avisos sonoros	5		Cálculo estrutural e estudos das aplicações para prever carregamentos	Técnico	set/21
			Falha nas elementos de junção de peças				Perda de torque nos parafusos	Estudo de aplicação e dimensionamento	2	Simulação e teste de montabilidade	5		Cálculo estrutural e testes físicos	Técnico e CAD/CAE	set/21
							Solda com mal dimensionamento ou execução falha	Controle de qualidade do processo	1	Simulação e testes	2		P&D de testes de soldagem	Técnico	set/21
			Deformação excessiva				Colisão	Simulação Computacional e dimensionamento	6	Simulação e crash test	2		P&D de perfis otimizados para absorção de geometria	Engenharia	set/21
	Adaptar carrocerias	Design que permita a instalação de diferentes tipos de carrocerias visando a modularização	Sub-dimensionamento para modularização	Sobrecarga estrutural em componentes específicos afetando diretamente o funcionamento do veículo	1	17	Não considerar diferentes aplicações para definições de contorno de design e de simulações	Estudo de aplicação	1	Levantamento de esforços	2		Testes experimentais, em protótipos e em campo.	Engenharia experimental	set/21
			Falta de modularização	Plataforma com limitadas aplicações de produtos	1	16									
Pack das baterias	Unificar baterias	Fornecer espaço para a instalação e unificação das células de bateria, estudando a distribuição ideal do conjunto de células na plataforma	Atributos de desempenho insuficientes	Perda de potência, autonomia e vida util	7	12	Dimensionamento incorreto do pack de baterias	Estudo de aplicação e dimensionamento	1	Controle de qualidade	1		Sistemática de aprovação e controle	Qualidade	set/21
							Potência requerida maior do que a disponível sem afetar a vida util do projeto	Estudo de aplicação e dimensionamento	1	Gerenciamento eletrônico	1		Desenvolvimento sistemático de gerenciamento	Sistemista	set/21
			Mal contato nas conexões	Interrupção parcial do fornecimento de energia	5	14	Processo de montagem	Controle de qualidade do processo	3	Controle de qualidade / Análise de impedâncias	1		Procedimentos, verificação e sistemática de qualidade.	Produção / Qualidade	set/21
	Distribuição baterias		Funcionamento inadequado do sistema	Superaquecimento no sistema de baterias	7	11	Erro no dimensionamento do projeto	Estudo de aplicação e dimensionamento	1	Gerenciamento eletrônico	2		Cálculos e sistemática de revisão.	Sistemista	set/21
							Arrefecimento insuficiente das baterias	Simulação CFD, estudo de aplicação e dimensionamento	1	Termopares de controle	2		Caso o superaquecimento seja persistente, desligar o veículo	Sistemista / Técnico	set/21
			Posicionamento inadequado	Comprometer a integridade das baterias em colisões com o posicionamento que dificulta a absorção de energia	10	7	Erro no dimensionamento do projeto	Estudo de Layout	1	Controle dimensional na montagem	2		Deve haver uma sistemática de inspeção e liberação	Qualidade	set/21
			Falta de modularização	Plataforma com limitadas aplicações de produtos	1	15	Não considerar diferentes aplicações para definições de contorno de design	Estudo de aplicação	2	Estudo de aplicação	1		Dever ser realizados estudos de viabilidade e aplicação.	Engenharia	set/21
Frame das baterias	Fixação pack	Atender requerimentos para a estruturação e fixação do pack de baterias, fomecendo alguma melhoria na absorção de impactos e permintindo o funcionamento ideal do sistema	Falha nos elementos de junção de peças	Comprometer a integridade mecânica da estrutura	10	5	Torque divergente do especificado	Estudo de aplicação e dimensionamento	1	Controle de qualidade	4		Deve haver uma sistemática de inspeção e liberação	Qualidade	set/21
							Erro no dimensionamento do projeto	Estudo de aplicação e dimensionamento	1	Teste de durabilidade e resistência	2		Analise-crítica dos dados e definição dos coeficientes de segurança.	Engenharia experimental	set/21
	Proteção pack		Deformação excessiva	Comprometer a integridade das baterias	10	4	Erro no dimensionamento do projeto	Estudo de aplicação e dimensionamento	1	Testes experimentais e prototipagem	2		Analise-crítica dos dados e reestudo de projeto, se necessário	Engenharia experimental	set/21
	Segurança Térmica		Superaquecimento do conjunto	Perda no desempenho das baterias, aumento da temperatura em uma região inflamavel	7	9	Arrefecimento das baterias insuficiente	Simulação CFD, estudo de aplicação e dimensionamento	2	Termopares de controle	2		Caso o superaquecimento seja persistente, desligar o veículo	Engenharia / Sistemista	set/21
	Proteção Corrosão		Falha estrutral do material	Comprometer a integridade mecânica da estrutura e diminuição da vida útil do componente	5	13	Seleção de materiais	Estudo de aplicação e dimensionamento	1	Estudo por amostragem em câmara salina.	2		Controle estatístico e de qualidade	Eng. Experimental / Qualidade	set/21
	Proteção inferior		Deformação excessiva	Comprometer a integridade das baterias	9	8	Colisões contra o assoalho do veículo	Estudo de aplicação e dimensionamento	4	Prototipagem / Testes experimentais	2		Análise-crítica dos dados e definição dos coeficientes de segurança.	Engenharia experimental	set/21
	Controle umidade		Contato do lítio com umidade	Perda no desempenho das baterias e diminuição da vida útil do componente	7	10	Problemas no sistema de vedação e de drenagem	Dimensionamento	2	Controle de qualidade	4		Controle estatístico e de qualidade	Qualidade	set/21
	Absorver impactos		Baixa absorção de energia	Comprometer a integridade das baterias	10	3	Colisão ser maiores no projeto	Estudo de aplicação	6	CFD / Prototipagem / Testes experimentais	2		Análise-crítica dos dados e definição dos coeficientes de segurança.	Engenharia experimental	set/21
Painel lateral	Absorver impactos	Item com maior capacidade de absorção de energia, protegendo os demais componentes da estrutura e garantindo a integridade do pack de baterias	Baixa absorção de energia	Deformação excessiva no pack de baterias e ruptura nas células podendo ocasionar vazamento do lítio	10	1	Colisão	Estudo de aplicação	8	CFD / Prototipagem / Testes experimentais	2		Análise-crítica dos dados e estudar o desenvolvimento do produto.	Engenharia experimental	set/21
			Falha nos elementos de junção	Falha no sistema de fixação, da solução para absorção de energia, ocasionando o deslocamento do item e a falha do painel lateral	10	2	Torque divergente do especificado	Estudo de aplicação e dimensionamento	2	Controle de qualidade	4		Deve haver uma sistemática de inspeção e liberação	Produção / Qualidade	set/21
							Solda com mal dimensionamento ou execução falha	Controle de qualidade do processo	1	Controle de qualidade	4		Deve haver uma sistemática de inspeção e liberação	Produção / Qualidade	set/21