



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Projeto Integrador de Engenharia 2

Rocket Guidance Station: Estação de monitoramento e controle de lançamento de foguetes

Autores: Artur Almeida, Augusto Vilarins, Diogo Sens, Douglas Brandão, Francisco Matheus, Gabriela Alves, Gustavo Linhares, Isaque Alves, João Egewarth, Luísa Prospero, Milena Martins, Misael Andrade e Thainá Rodrigues.

Brasília, DF

2020



Artur Almeida, Augusto Vilarins, Diogo Sens, Douglas Brandão, Francisco Matheus, Gabriela Alves, Gustavo Linhares, Isaque Alves, João Egewarth, Luísa Prospero, Milena Martins, Misael Andrade e Thainá Rodrigues.

**Rocket Guidance Station:
Estação de monitoramento e controle de lançamento de
foguetes**

Trabalho submetido à disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 2 referente ao **Ponto de Controle 3**, na Universidade de Brasília.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Alex Reis, José Felício, Rhander Viana, Ricardo Matos Chaim e Paolo Gessini.

Brasília, DF

2020

Resumo

A *Rocket Guidance Station* (RGS) é um equipamento criado com a finalidade de tornar mais fácil e seguro o lançamento de foguetes de propulsão híbrida. Para que isto ocorra o projeto foi desenvolvido de forma a ser capaz de realizar o abastecimento e o lançamento do foguete de forma remota além de obter informações relativas ao voo do foguete em tempo real. Com isso o sistema foi desenvolvido de forma a ser de uso intuitivo para o usuário, com duas estruturas principais compactas e portáteis, que dão suporte aos componentes eletrônicos e a interface de usuário. Além disso é uma estação remota capaz de realizar a abertura e fechamento das válvulas que compõem o sistema de alimentação, bem como de executar a ignição do foguete no momento de seu lançamento. É capaz ainda de receber os dados de telemetria do foguete e da base de lançamento antes e durante o voo.

Palavras-chaves: Controle e monitoramento. *Ground Station*. Lançamento. Foguete.

Lista de ilustrações

Figura 1 – <i>Fishbone</i>	25
Figura 2 – Brainwriting.	34
Figura 3 – Storytelling: Página 1	36
Figura 4 – Storytelling: Página 2	37
Figura 5 – Wireframe	38
Figura 6 – Mapa de requisitos	41
Figura 7 – Modo como o JavaScript é executado fora do browser	42
Figura 8 – Representação da Arquitetura	43
Figura 9 – Cliente da aplicação Desktop	44
Figura 10 – Servidor da aplicação Desktop	44
Figura 11 – Padrão de Projeto Chain of Responsibility (GURU, 2020)	45
Figura 12 – Sequência baseada em Middleware (IBM, 2020)	45
Figura 13 – Documento em formato JSON	46
Figura 14 – Documento em formato XML	46
Figura 15 – Padrão de projeto Adapter (WIKIPEDIA, 2020)	47
Figura 16 – Diagrama de sequencia representando o processo da ignição do foguete. Fonte: Autor	48
Figura 17 – Modelo Conceitual da modelagem.	49
Figura 18 – Modelo Lógico da modelagem	50
Figura 19 – Diagrama de representação dos pacotes e as relações do Back end	50
Figura 20 – Diagrama de representação dos pacotes e as relações do Front end	51
Figura 21 – Ciclo de vida do User Centered Design	53
Figura 22 – Tela de criação de foguetes.	54
Figura 23 – Tela de criação de foguete com erros demonstrando as validações feitas.	54
Figura 24 – Tela de criação de hardware	55
Figura 25 – Tela de criação de hardware com erros demonstrando as validações feitas.	55
Figura 26 – Tela de criação de comando para o hardware.	56
Figura 27 – Tela de inicio de missão.	56
Figura 28 – Tela para inserção dos dados de uma nova missão.	57
Figura 29 – Tela de escolha do foguete para a missão.	57
Figura 30 – Tela inicial da missão, com os dados de abastecimento.	58
Figura 31 – Tela da fase de abastecimento após o processo concluído.	58
Figura 32 – Deploy de uma imagem docker na Jetson (LABS, 2020)	60
Figura 33 – Diagrama do Lançamento.	62
Figura 34 – Placa Lora Esp32 da HELTEC.	63
Figura 35 – Faixa de Frequência ISM no Brasil.	64

Figura 36 – Diferentes símbolos para SF diferentes em LoRa.	65
Figura 37 – Diferentes distâncias para SF diferentes em LoRa.	65
Figura 38 – Diferentes taxas para SF e BW diferentes em LoRa.	67
Figura 39 – Cálculo transmissão LoRa pela Sentech.	69
Figura 40 – Cálculo transmissão LoRa pela Sentech.	69
Figura 41 – Sensor de pressão e temperatura BMP280 (Bosch).	70
Figura 42 – Conexões entre sensor BMP280 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C.	73
Figura 43 – Módulo GPS GY-NEO6MV2 (uBlox).	73
Figura 44 – Conexões entre o GPS GY-NEO6MV2 e ESP32 LoRa - Protocolo UART.	74
Figura 45 – Célula de carga - 50 kg.	75
Figura 46 – Circuito padrão de uma Ponte de Wheatstone.	75
Figura 47 – Circuito Meia-Ponte de Wheatstone da Célula de Carga utilizada.	76
Figura 48 – HX711 - Módulo amplificador e conversor A/D de 24 bits.	77
Figura 49 – Diagrama de blocos do módulo HX711 em aplicação típica de uma balança com uma célula de carga.	77
Figura 50 – Circuito com 2 células de carga com conexões para o módulo HX711.	78
Figura 51 – Conexões entre Hx711 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C.	78
Figura 52 – Estação de controle de solo.	79
Figura 53 – Tela da interface do usuário.	80
Figura 54 – Teclado da interface do usuário.	81
Figura 55 – Tabela de comparação de <i>single board computers</i> . Fonte : Autor	81
Figura 56 – Nvidea Jetson Nano Developer Kit.	82
Figura 57 – Diagrama Central de Controle.	82
Figura 58 – Diagrama do algoritmo de calibração da balança	83
Figura 59 – Diagrama lógico do abastecimento foguete.	85
Figura 60 – Circuito típico de uma ponte H.	86
Figura 61 – Driver Motor Ponte H L298n.	86
Figura 62 – Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional (4 Canais)	87
Figura 63 – Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C	88
Figura 64 – Conexões entre atuadores externos e microcontrolador da base de lançamento.	88
Figura 65 – Diagrama esquemático do circuito interno da base de lançamento.	91
Figura 66 – Diagrama esquemático do circuito interno do foguete.	91
Figura 67 – Diagrama esquemático do circuito da central de controle do usuário.	92
Figura 68 – Dimensões da PCI do circuito interno do foguete.	94
Figura 69 – PCI do circuito interno do foguete.	94
Figura 70 – Dimensões da PCI do circuito interno da base de lançamento.	95
Figura 71 – PCI do circuito interno da base de lançamento	95
Figura 72 – Dimensões da PCI do circuito da central de controle.	96

Figura 73 – PCI do circuito interno do foguete.	96
Figura 74 – Bateria selecionada para o sistema de controle. Fonte: (DELL, 2020)	101
Figura 75 – Bateria selecionada para a base de lançamento.	102
Figura 76 – Regulador de tensão modelo LM2596.	103
Figura 77 – Diagrama bifilar do sistema de controle - maleta.	104
Figura 78 – Diagrama bifilar da base de lançamento.	105
Figura 79 – Transformador 30+30V 1A Bivolt. Fonte: (HUNION, 2020)	106
Figura 80 – Esquemático de um retificador de onda completa. Fonte: (WENDLING, 2011)	107
Figura 81 – Curva de carga da bateria de Lítio íon. Fonte: (MICHELINI, 2020)	108
Figura 82 – Medição de tensão no circuito carregador. Fonte: (WENDLING, 2011)	108
Figura 83 – Medição de corrente no circuito carregador.	108
Figura 84 – Projeto 2D e 3D da PCI do carregador.	109
Figura 85 – Solução estrutural e de abastecimento	114
Figura 86 – Evolução da solução	115
Figura 87 – Maleta 01 - GCS Fechada	122
Figura 88 – Maleta 01 - GCS Aberta	123
Figura 89 – Disposição dos equipamentos eletrônicos	123
Figura 90 – Maleta 02 - Abastecimento Fechada	124
Figura 91 – Maleta 02 - Abastecimento Aberta	124
Figura 92 – Vista Isométrica do Carregador	125
Figura 93 – Distribuição do Carregador	125
Figura 94 – Carregador Aberto	126
Figura 95 – Vista Isométrica da Case	126
Figura 96 – Distribuição dentro da estrutura	127
Figura 97 – Case aberta	127
Figura 98 – Malha da maleta da estação de controle	130
Figura 99 – Malha da maleta do sistema de alimentação com revestimento	130
Figura 100 – Tabela com as tensões máximas e mínimas de cada simulação	131
Figura 101 – Fluxograma do sistema de alimentação	133
Figura 102 – Vista explodida do Adaptador	138
Figura 103 – Etapas de simulação	140
Figura 104 – Diagrama hidráulico	144
Figura 105 – Diagrama eletromecânico	144
Figura 106 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de foguetes. Fonte: Autor	197
Figura 107 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de micro. Fonte: Autor	197
Figura 108 – Diagrama de sequencia representando o processo de iniciar a missão. Fonte: Autor	197

Figura 109 – Diagrama de sequencia representando o processo de abastecimento. Fonte: Autor	198
Figura 110 – Diagrama de sequencia representando o processo de desengate. Fonte: Autor	198
Figura 111 – Diagrama de sequencia representando o processo da ignição. Fonte: Autor	198
Figura 112 – Diagrama de sequencia representando o processo de finalizar a missão. Fonte: Autor	199
Figura 113 – Diagrama de sequencia representando o processo de histórico. Fonte: Autor	199
Figura 114 – Diagrama de blocos do projeto. Fonte: Autor	203
Figura 115 – Diagrama esquemático circuito da maleta . Fonte: Autor	205
Figura 116 – Diagrama esquemático circuito do foguete . Fonte: Autor	206
Figura 117 – Diagrama esquemático circuito da base de lançamento . Fonte: Autor .	207
Figura 118 – Diagrama bifilar GCS	209
Figura 119 – Diagrama bifilar da base de lançamento	210
Figura 120 – Diagrama unifilar do sistema de carregamento.	211
Figura 121 – Esboço inicial	213
Figura 122 – CAD da maleta verso	213
Figura 123 – CAD's da maleta frente	213
Figura 124 – CAD's da maleta lateral	214
Figura 125 – CAD's da maleta superior	214
Figura 126 – CAD's da maleta isométrica	214
Figura 127 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda direta	227
Figura 128 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda lateral	227
Figura 129 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada	228
Figura 130 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimen- tação em queda direta	228
Figura 131 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimen- tação em queda lateral	228
Figura 132 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimen- tação em queda inclinada	229
Figura 133 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda direta . .	229
Figura 134 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda lateral .	229
Figura 135 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada .	230
Figura 136 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta	230

Figura 137 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral	230
Figura 138 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada	231
Figura 139 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta	231
Figura 140 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral	231
Figura 141 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada	232
Figura 142 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta	232
Figura 143 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral	232
Figura 144 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada	233
Figura 145 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda direta	233
Figura 146 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda lateral	233
Figura 147 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda inclinada	234
Figura 148 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda direta	234
Figura 149 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda lateral	234
Figura 150 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda inclinada	235
Figura 151 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda direta	235
Figura 152 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda lateral	235
Figura 153 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda inclinada	236
Figura 154 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda direta	236
Figura 155 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral	236
Figura 156 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada	237
Figura 157 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda direta	237

Figura 158 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral	237
Figura 159 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada	238
Figura 160 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda direta	238
Figura 161 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral	238
Figura 162 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada	239
Figura 163 – Tanque de abastecimento e Tubo flexível	257
Figura 164 – Válvulas	257
Figura 165 – Conectores	257
Figura 166 – Valvula esfera flangeada	259

Lista de tabelas

Tabela 1 – Especificações principais dos componentes do sensoriamento.	79
Tabela 2 – Consumo elétrico dos componentes da maleta.	99
Tabela 3 – Consumo elétrico dos componentes da base de lançamento.	99
Tabela 4 – Dimensionamento dos condutores do projeto.	112
Tabela 5 – Requisitos de Estrutura	113
Tabela 6 – Propriedades do MDF	117
Tabela 7 – Propriedades do PRFC	118
Tabela 8 – Propriedades do PLA	119
Tabela 9 – Propriedades do ABS	120
Tabela 10 – Propriedades material de revestimento	122
Tabela 11 – Número de elementos e nós da simulação	129
Tabela 12 – Características físico-químicas do óxido nitroso	139
Tabela 13 – Parâmetros da simulação de abastecimento	141
Tabela 14 – Custos do Projeto de Eletrônica e Software	145
Tabela 15 – Custos do Projeto de Energia	147
Tabela 16 – Custos do Projeto de Estrutura	147
Tabela 17 – Custo total do Projeto	148
Tabela 18 – PUT foguetes.	165
Tabela 19 – PATCH foguetes.	166
Tabela 20 – GET foguetes pelo ID.	166
Tabela 21 – DELETE foguetes.	167
Tabela 22 – POST foguetes.	167
Tabela 23 – GET foguetes.	168
Tabela 24 – POST hardware.	169
Tabela 25 – DELETE hardware.	169
Tabela 26 – GET hardware.	170
Tabela 27 – PUT comandos.	170
Tabela 28 – PATCH comandos.	171
Tabela 29 – GET comandos pelo ID.	171
Tabela 30 – DELETE comandos.	171
Tabela 31 – POST comandos.	172
Tabela 32 – GET comandos.	172
Tabela 33 – PUT missao pelo ID.	173
Tabela 34 – PATCH missão.	173
Tabela 35 – GET missão pelo ID.	174
Tabela 36 – DELETE missão.	174

Tabela 37 – POST missão.	174
Tabela 38 – GET missões.	175
Tabela 39 – PUT GPS.	176
Tabela 40 – PATCH GPS pelo ID.	176
Tabela 41 – GET GPS pelo ID.	177
Tabela 42 – GET GPS pelo ID.	177
Tabela 43 – POST GPS.	177
Tabela 44 – GET GPS.	178
Tabela 45 – PUT peso.	178
Tabela 46 – PATCH peso.	179
Tabela 47 – GET peso pelo ID.	179
Tabela 48 – DELETE peso.	179
Tabela 49 – POST peso.	180
Tabela 50 – GET pesos.	180
Tabela 51 – PUT pressão.	181
Tabela 52 – PATCH pressão.	181
Tabela 53 – GET pressão pelo ID.	182
Tabela 54 – DELETE pressão.	182
Tabela 55 – POST pressão.	182
Tabela 56 – GET pressão.	183
Tabela 57 – PUT altitude.	183
Tabela 58 – PATCH altitude.	184
Tabela 59 – GET altitude pelo ID.	184
Tabela 60 – DELETE altitude.	184
Tabela 61 – POST altitude.	185
Tabela 62 – GET altitude.	185
Tabela 63 – Lista de alterações significativas do projeto.	241

Lista de abreviaturas e siglas

A	<i>Ampères</i>
ABS	<i>Acrilonitrila Butadieno Estireno</i>
AJAX	<i>Asynchronous JavaScript And XML</i>
ANATEL	<i>Agência Nacional de Telecomunicações</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
BBB	<i>Battelle-Bildmappen-Brainwriting</i>
BW	<i>Bandwidth-Largura de banda</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CNB	<i>Collective Notebook</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
CR	<i>Code Rate</i>
CRT	<i>Capital Rocket Team</i>
CSS	<i>Chirp Spread Spectrum</i>
CSV	<i>Comma Separated Values</i>
EAP	<i>Estrutura Analítica de Projetos</i>
FCA	<i>fator de correção de agrupamento</i>
FCE	<i>Forward Error Corrector</i>
FCT	<i>fator de correção de temperatura</i>
FGA	<i>Faculdade Gama</i>
FIT	<i>Feira de inovação tecnológica</i>
FOFA	<i>Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças</i>
FR	<i>Flame Resistant</i>
FSK	<i>Frequency-shift keying</i>

GCS	<i>Ground Control Station</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
GPS	<i>Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IA	<i>Inteligencia artificial</i>
IOT	<i>Internet das coisas</i>
ISM	<i>Industrial Sientific and Medical</i>
ISO	<i>Organização Internacional de Normalização</i>
LASC	<i>Latin America Space Challenge</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
MOBFOG	<i>Mostra Brasileira de Foguetes</i>
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>
NGT	<i>Nominal Group Technique</i>
PC	<i>Ponto de Controle</i>
PCI	<i>Placa de Circuito Impresso</i>
PLA	<i>Poli Ácido Lático</i>
PRFC	<i>Polímero Reforçado com Fibra de Carbono</i>
PRFV	<i>Polímero Reforçado com Fibra de Vidro</i>
PTH	<i>Pin Through Hole</i>
Rb	<i>Taxa de bits</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RGS	<i>Rocket Guidance Station</i>
RUP	<i>Rational Unified Process</i>
SF	<i>Spreading Factor-Fator de espalhamento</i>
SIL	<i>Safety Integrity Level</i>

SMD	<i>Surface Mounted Device</i>
SOA	<i>Service oriented architecture</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats</i>
TAP	<i>Termo de Abertura de Projeto</i>
VIML	<i>Vocabulário Internacional de Metrologia Legal</i>
W	<i>Watts</i>
Wh	<i>Watts hora</i>
5W1H	<i>Who, What, Where, When, Why, How</i>

Sumário

I	INTRODUÇÃO	21
1	CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.1	Problematização	24
1.2	Justificativa	25
II	CONCEPÇÃO E DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO	27
2	SOLUÇÃO GERAL	29
3	SOFTWARE	31
3.1	Product Design	31
3.1.1	<i>User Centered Design</i>	31
3.1.1.1	Entrevistas	31
3.1.1.2	<i>Brainwriting</i>	32
3.1.1.3	<i>Storyboard</i>	34
3.1.2	Arquitetura da informação	37
3.1.2.1	<i>Wireframe</i>	38
3.1.2.2	Protótipo de média fidelidade	39
3.1.3	Definição do produto	39
3.1.3.1	Mapa de requisitos	40
3.2	Definição da Arquitetura	41
3.2.1	Padrão Arquitetural	41
3.2.2	Representação da Arquitetura	43
3.2.2.1	Cliente	43
3.2.2.2	Servidor	44
3.2.2.3	Banco de Dados	46
3.2.2.4	<i>Hardware</i>	47
3.2.3	Ambiente	47
3.2.4	Arquitetura computacional	47
3.3	Diagrama de Sequência	48
3.4	Modelagem de Dados	49
3.5	Diagrama de Pacotes	49
3.6	Metas e restrições de arquitetura	51
3.6.1	Metas	51
3.6.2	Restrições	51

3.7	Inovação	52
3.8	Descrição do problema e proposta de inovação	52
3.8.1	Como executar um design de produto centrado no usuário	52
3.9	Construção Front end	53
3.9.1	Criação do Foguete	54
3.9.2	Criação de Hardware e Comandos	55
3.9.3	Ciclo de missão	56
3.10	Construção Backend	58
3.10.1	API	58
3.10.2	Serviço de Simulação	59
3.10.3	Infraestrutura	59
4	ELETRÔNICA	61
4.1	Telemetria	61
4.1.1	Lora	63
4.2	Sensoriamento	70
4.2.1	Altitude e Velocidade	70
4.2.2	Localização Geográfica (GPS)	73
4.2.3	Peso do foguete	74
4.2.4	Especificações dos sensores	78
4.3	Central de controle	79
4.3.1	Interface do usuário	80
4.3.2	<i>Single Board Computer</i>	81
4.4	Calibração	83
4.5	Integrações	84
4.5.1	Diagrama de blocos do Abastecimento	84
4.5.2	Acionamento eletrônico das válvulas externas e ignição	85
4.5.3	Acionamento eletrônico das válvulas internas	89
4.5.4	Comunicação hardware e software	89
4.6	Diagramas e esquemáticos	90
4.7	Placa de circuito impresso	92
4.7.1	Circuito interno do foguete	93
4.7.2	Circuito na base de lançamento	94
4.7.3	Circuito na base de controle central	96
5	ENERGIA	97
5.1	Ignição	97
5.2	Consumo dos sistemas	99
5.3	Baterias	100
5.3.1	Sistema de controle - maleta	101

5.3.2	Sistema da base de lançamento	102
5.4	Regulador de tensão	103
5.5	Funcionamento do sistema de alimentação	103
5.6	Carregador de bateria	105
5.6.1	Fonte de Alimentação	106
5.6.1.1	Transformador	106
5.6.1.2	Retificador de onda completa	106
5.6.2	Círculo de carregamento	107
5.7	Dimensionamento dos condutores	110
5.7.1	Círculo carregador	111
5.7.2	Círculo maleta	111
5.7.3	Círculo base	112
6	ESTRUTURA	113
6.1	Mudanças	114
6.2	Especificações de materiais	115
6.2.1	Materiais estruturais	115
6.2.1.1	<i>Medium Density Fiberboard - MDF</i>	116
6.2.1.2	Polímero Reforçado com Fibra de Vidro - PRFV	117
6.2.1.3	Polímero Reforçado com Fibra de Carbono - PRFC	118
6.2.1.4	Poli Ácido Lático - PLA	119
6.2.1.5	Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS	119
6.2.1.6	Resultado	120
6.2.2	Material para revestimento da caixa	121
6.3	Maleta 01 - GCS	122
6.4	Maleta 02 - Abastecimento	124
6.5	Cases	125
6.5.1	Carregador	125
6.5.2	Case base de lançamento	126
6.6	Simulações de Impacto	127
6.6.1	Razões para a simulação	127
6.6.2	Preparação do modelo de simulação	128
6.6.3	Detalhes da Malha	129
6.6.4	Condições iniciais	130
6.6.4.1	Resultados e discussões	131
6.7	Plano de construção	132
7	ABASTECIMENTO	133
7.1	Fluxo de trabalho	133
7.2	Caracterização dos componentes	135

7.3	Atuador	136
7.3.1	Adaptador do atuador	137
7.4	Oxido Nitroso	138
7.5	Simulação hidráulica	139
7.5.1	Metodologia	139
7.5.2	Blocos usados para o nosso sistema.	141
7.5.2.1	Caracterização do fluido combustível - <i>Custom Hydraulic Fluid</i>	141
7.5.2.2	Tanque de abastecimento - <i>Tank</i>	141
7.5.2.3	Válvula esfera - <i>Ball Valve</i>	142
7.5.2.4	Conexão T - <i>T-junction</i>	142
7.5.2.5	Ambiente externo - <i>Hydraulic Reference</i>	142
7.5.2.6	Mangueira - <i>segmented Pipeline</i>	143
7.5.2.7	Válvula anti-retorno - <i>Check Valve</i>	143
7.5.3	Resultados	144
8	CUSTOS	145
8.1	Eletrônica e Software	145
8.2	Energia	146
8.3	Estrutura	147
8.4	Total	148
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
	REFERÊNCIAS	151
	APÊNDICES	161
	APÊNDICE A – REPOSITÓRIO DO PROJETO - GITHUB	163
A.1	Documentação do Projeto	163
A.2	Backend	163
A.3	Frontend	163
	APÊNDICE B – DOCUMENTAÇÃO DA API	165
B.1	Foguete	165
B.2	Hardware	169
B.3	Comandos	170
B.4	Missão	173
B.5	Dados coletados	176
B.5.1	GPS	176
B.5.2	Peso	178

B.5.3	Pressão	181
B.5.4	Altitude	183
	APÊNDICE C – CASO DE TESTE DO SOFTWARE	187
C.1	Manter Foguete	187
C.1.1	Criar foguete com sucesso	187
C.1.2	Criar foguete inválido	187
C.2	Manter Hardware e Comandos	187
C.2.1	Criar hardware	187
C.2.2	Criar Comandos	188
C.3	Manter Missão	188
C.3.1	Criar Missão Com Sucesso	188
C.3.2	Criar Missão Inválido	188
C.4	abastecimento	189
C.5	Desacoplagem e Despressurização	189
C.6	Ignição	189
C.7	Acompanhar Voo	190
C.8	Acompanhar Pouso	190
C.9	Visualizar Histórico da Missão	190
C.10	Baixar informações (gráfico ou dados)	191
	APÊNDICE D – ENTREVISTAS	193
D.1	Entrevistas de elicitação	193
D.2	Reuniões de definições de restrições	194
	APÊNDICE E – DIAGRAMA DE SEQUENCIAS	197
	APÊNDICE F – TOMADAS DE DECISÕES - SOFTWARE	201
F.1	Problemas na Solução com Machine Learning	201
	APÊNDICE G – DIAGRAMA DE BLOCOS	203
	APÊNDICE H – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS	205
	APÊNDICE I – DIAGRAMAS ELÉTRICOS	209
	APÊNDICE J – ESBOÇO E CAD INICIAIS	213
	APÊNDICE K – DESENHOS TÉCNICOS	215
	APÊNDICE L – SIMULAÇÃO DE IMPACTO	227
	APÊNDICE M – REGISTRO DE ALTERAÇÕES	241

APÊNDICE N – AUTOAVALIAÇÃO	243
APÊNDICE O – MANUAL DE MONTAGEM	251
APÊNDICE P – MANUAL DE USUÁRIO	253
ANEXOS	255
ANEXO A – ELEMENTOS DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	257

Parte I

Introdução

1 Contextualização

Competições universitárias de foguetes são eventos em que equipes formadas por estudantes (de engenharia, em sua maioria) precisam desenvolver um foguete experimental que consiga atingir uma altitude máxima específica (1km, 3km ou 7km, dependendo da competição). O propósito dessas competições é incentivar os participantes a se envolverem no desenvolvimento de um projeto desafiador e ao mesmo tempo estimulante, semelhante a eventos estudantis de nível médio ou mesmo fundamental, nos quais a propulsão do foguete é emulada com experimentos lúdicos (com o uso de bicarbonato de sódio, ou bombas de pressão)¹, porém não menos interessantes.

No entanto, diferente desses eventos, numa competição universitária, são utilizados propulsores a combustão, semelhantes aos utilizados em foguetes reais, ainda que em escala reduzida (por isso experimentais). Essa exigência demanda, naturalmente, uma série de medidas de seguranças que devem ser observadas pelas equipes durante as competições. Uma dessas medidas é o raio de distância mínima da base de lançamento, que define a área na qual nenhuma pessoa deve ficar durante o lançamento do foguete². Isso exige que alguns atos preparatórios do lançamento sejam feitos remotamente.

A *Capital Rocket Team* (CRT) é a equipe da Universidade de Brasília dedicada a participar dessas competições de foguetes. Fundada em 2015 por estudantes do curso de Engenharia Aeroespacial, desde sua origem a equipe trabalha com um tipo específico de propulsão: a propulsão híbrida. Nela, as substâncias responsáveis pela propulsão (chamadas de par propelente) são armazenadas no foguete em estados físicos distintos ([SUTTON, 2016](#)). No caso dos foguetes da Capital, o combustível (parafina) fica em estado sólido, em formato cilíndrico dentro da câmara de combustão do motor, enquanto o oxidante (óxido nitroso) fica em estado líquido em um tanque separado.

O sistema propulsivo é completado por um ignitor, que fica junto ao combustível na câmara de combustão, uma substância que necessita somente de uma fonte de calor (que pode ser um resistor elétrico) para iniciar sua combustão. Na hora do lançamento, uma corrente elétrica aquece o resistor. O tanque contendo o óxido nitroso é aberto, despejando o oxidante na câmara de combustão. A mistura do oxidante com o combustível contido na câmara, mais o calor gerado pela combustão do ignitor, provoca a reação principal de combustão do propulsor. Os gases resultantes dessa combustão são expelidos pelo bocal de saída do motor (chamado de tubeira). Essa saída dos gases gera uma força de empuxo direcionada para o solo, o que faz o foguete deslocar no sentido oposto, em direção ao apogeu. E assim é feita a decolagem do foguete.

¹ Cf. Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG): <https://bit.ly/3c968ki>

² Cf. Latin America Space Challenge (LASC): <https://bit.ly/2FQ2Ru9>

1.1 Problematização

Como visto, as características de um foguete de propulsão híbrida, somadas com as exigências de segurança da competição, somadas também com as necessidades típicas de uma missão de lançamento (como o registro da altitude durante o voo) resultam em uma série de demandas que a *Capital Rocket Team* precisa atender para ter uma missão bem sucedida. Para fins deste trabalho, a Capital será tratada como um cliente (e referenciada por esse termo a partir de agora) que deseja contratar um serviço prestado pela presente equipe de Projeto Integrador 2 (referenciada a partir de agora como "equipe") para sanar algumas dessas demandas, as quais são:

- fazer o abastecimento do tanque de oxidante remotamente, uma vez que o foguete já esteja colocado na base de lançamento e a mangueira de abastecimento esteja acoplada a ele manualmente (o que é permitido pelas regras de segurança);
- fazer a ignição do foguete remotamente, a qual consiste em emitir um sinal elétrico capaz de aquecer o resistor ligado ao ignitor pelo tempo necessário para que este inicie sua combustão, bem como em abrir a válvula que conecta o tanque do oxidante ao motor do foguete;
- fazer a coleta dos dados de telemetria do foguete durante o voo, de modo a registrar tanto sua variação de altitude e velocidade em tempo real como sua posterior localização, para fins de recuperação.

Essas demandas possuem o elemento comum de serem, de uma forma ou de outra, a execução de uma tarefa à distância. Ademais, cada uma delas tem características específicas que são variáveis conforme as dimensões do foguete. Por exemplo, a quantidade de oxidante necessária para o tanque do foguete varia conforme a altitude de apogeu desejada, ou seja, quanto maior o apogeu, maior o tempo de voo e, consequentemente, maior será a quantidade necessária de oxidante para a combustão.

Para fins do presente projeto, a equipe utilizar-se-á dos parâmetros com que o cliente trabalha atualmente (foguete de apogeu de 1km). No entanto, a solução a ser desenvolvida precisará observar esse caráter variável de alguns parâmetros presentes nas demandas contidas na execução de uma missão de lançamento.

A proposta da equipe é o desenvolvimento de uma estação de controle remota capaz de coordenar essas diversas atividades, por meio do envio e recebimento de sinais que sejam capazes de coletar os dados pertinentes à operação de lançamento e ao voo subsequente, bem como atuar sobre dispositivos que executem as tarefas demandadas, como a abertura e o fechamento das válvulas.

Na figura 1 é apresentado o diagrama de *fishbone* do projeto, para melhor entendimento da problemática e dos desafios abordados pela equipe.

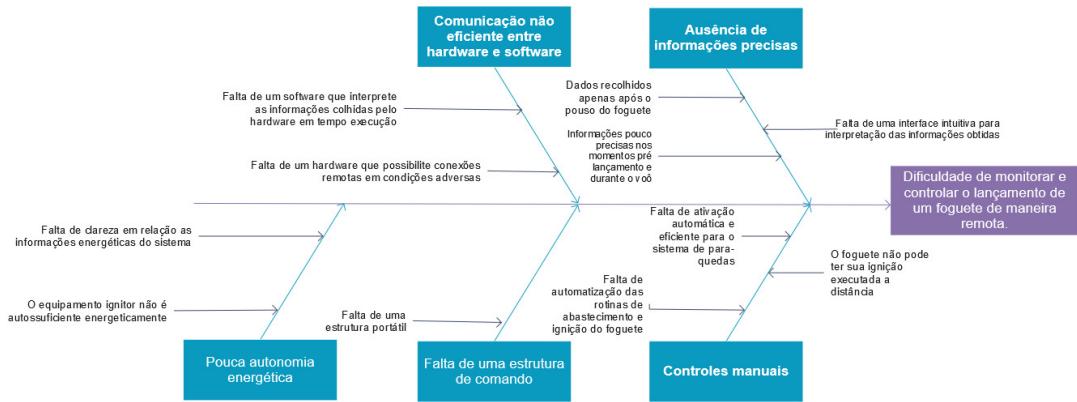


Figura 1 – *Fishbone*

1.2 Justificativa

Há dois pontos que precisam ser fundamentados a respeito do projeto: a escolha da demanda e a natureza da solução proposta para essa demanda. Quanto à escolha da demanda, optou-se por atender um problema concreto enfrentado por um agente que atua efetivamente na área de tecnologia. Ainda que o propósito principal da equipe seja de fato atender as diretrizes estabelecidas pela matéria, adotar um *stakeholder* adicional traz a dupla vantagem de: a) definir requisitos do projeto de maneira clara, uma vez que o que se precisa ou não fazer é expresso pelo trabalho que o cliente já desenvolve; e b) dar destinação útil ao projeto (caso aprovado) após o fim da matéria, o que está em consonância com o propósito do curso de promover o desenvolvimento de produtos que tenham aplicação prática e/ou potencialmente comercial.

Quanto à natureza da solução, acreditamos que o projeto está voltado a tornar uma rotina de trabalho mais eficiente e segura. Como vimos nos requisitos de segurança das competições, uma plataforma que automatize uma série de tarefas necessárias para a preparação do lançamento de um foguete é mais do que bem-vinda, em favor da segurança dos membros de uma equipe de competição. Ademais, o cliente já reportou dificuldades passadas quanto a essas tarefas, em particular o abastecimento do tanque e o desacoplamento da mangueira, feitos com um sistema de cordas e polias em caráter contingencial.

Desenvolver uma solução definitiva para essas atividades acessórias permitirá que o cliente torne mais produtivo seu trabalho voltado especificamente no desenvolvimento do seu foguete e, quem sabe, o trabalho de outras equipes interessadas e que atuem em projetos semelhantes, o que, em última análise, ajudará no desenvolvimento da atividade espacial brasileira como um todo.

Parte II

Concepção e Detalhamento da Solução

2 Solução Geral



A solução proposta é o projeto de uma estação de controle e monitoramento do lançamento de um foguete experimental movido a propulsão híbrida. Por meio de sensores e atuadores, a estação realizará o abastecimento e a ignição remota do foguete e, durante o voo, a coleta da telemetria deste.

A solução conta com duas estruturas principais em formato de maleta. A primeira é aqui tratada como maleta de controle e monitoramento, onde o sistema principal de hardware estará instalado e embarcado com o código fonte de interface do usuário. Aqui também estará a bateria de alimentação para esse sistema, além da tela e do teclado para visualizações e envios de comandos por parte do usuário.

A segunda maleta é referida como maleta de suporte/apoio ao abastecimento, nela estará todos os componentes necessários para a montagem e manutenção do sistema de abastecimento a distância, bem como uma segunda bateria para os motores e para a ignição do sistema. Ela também contará para o transporte do adaptador de válvula.

Por fim a solução conta com um sistema de carregamento para ambas as baterias selecionadas, um sistema de aquisição de dados de sensores que vão dentro do foguete e também de sensores na base de lançamento.

3 Software

3.1 *Product Design*

O *design* do produto é o processo que os *designers* usam para combinar as necessidades do usuário com os objetivos de negócio para criar produtos e experiências de sucesso.

3.1.1 *User Centered Design*

User Centered Design (Design centrado no usuário) é um termo usado para descrever os processos de *design* os quais os usuários finais influenciam. Alguns processos utilizam técnicas voltadas para entendimento das necessidades dos usuários em pontos específicos, como levantamento de requisitos e testes de usabilidade. Outros métodos têm o usuário como um parceiro dos *designers*, tendo um grande impacto no processo de *design* (ABRAS et al., 2004). Para o contexto da disciplina, foram utilizadas algumas técnicas do *User Centered Design* citadas nos tópicos a seguir.

3.1.1.1 Entrevistas

Para criar um produto que satisfaça as necessidades dos seus usuários, é necessário entender suas dores e anseios. A realização de entrevistas com usuários é um dos métodos do *User Centered Design* que pode ser utilizado para esse fim. Existem quatro técnicas bastante difundidas no processo de criação de um produto: entrevistas estruturadas, semi-estruturadas, não estruturadas e por telefone. (WILSON, 2013)

- **Estruturadas** : Entrevistas com perguntas estruturadas e padronizadas, utilizadas principalmente para reunir dados demográficos, compreender o conhecimento do usuário, ou para reunir dados de atitude e de opinião.
- **Semi-estruturadas** : O método de entrevistas semi-estruturadas utiliza uma combinação de perguntas estruturadas com a liberdade exploratória das entrevistas não estruturadas. Ela é útil quando você tem algum conhecimento sobre um tópico, mas deseja dar aos usuários a oportunidade de levantar novas questões ou quando o tópico é muito complexo para ser uma entrevista estruturada.
- **Não estruturadas** : Nas entrevistas não estruturadas, utilizam-se de tópicos gerais; porém, não é necessária nenhuma pergunta ou formato pré determinado. Essa entrevista é extremamente importante pra reunir dados sobre as experiências dos

participantes, sem restrições. É uma conversa com um objetivo, e o rumo da entrevista pode ser ditado por ambos os participantes.

- **Por telefone :** As entrevistas por telefone são geralmente entrevistas semiestruturadas ou estruturadas conduzidas de maneira remota.

Com embasamento nessas técnicas, fizemos algumas entrevistas com nossos *stakeholders*. Aplicamos diferentes técnicas para cada uma das entrevistas, pois os objetivos eram diferentes.

- **Entrevista semi-estruturada :** A utilização da entrevista semi estruturada foi feita em um cenário complexo, onde tínhamos pouco conhecimento do assunto. Foram criadas perguntas simples para dar objetivo inicial para a entrevista. Após isso, os próprios *stakeholders* tocaram a entrevista, e os integrantes do grupo apenas complementavam com perguntas sobre o assunto. Essa entrevista serviu para entendermos quais dados eram gerados na simulação e quais valores eles traziam para os *stakeholders*. A partir dessa entrevista, conseguimos entender quais os usos dos dados que seriam coletados e mostrados pelo nosso sistema
- **Entrevista não estruturada :** A entrevista não estruturada foi utilizada em um contexto onde já tínhamos um conhecimento melhor sobre o assunto e queríamos validar a experiência dos usuários com o protótipo criado. Não foi estruturada nenhuma pergunta ou método, apenas o objetivo: validar o protótipo. O resultado da entrevista foi uma série de apontamentos sobre a necessidade de cada usuário em cada fase de uma missão. Esses resultados foram utilizados posteriormente para criar uma evolução do protótipo.

Todas as entrevistas realizadas com os stakeholders estão disponíveis no Apêndice D . Como as técnicas de execução das entrevistas se deram de formas variadas, algumas delas resultaram em documentos mais técnicos, outras em documentos mais informais. De toda forma, todo registro de troca de informações com o potencial usuário, é de extrema importância, pois após análise da equipe técnica podem-se derivar necessidades técnicas e demandas dos usuários que outrora não haviam sido identificadas.

3.1.1.2 Brainwriting

Umas das técnicas mais populares para documentar ideias de maneira rápida é o *brainstorm*. No entanto, essa técnica exige muito esforço para ser aplicada em grupo, devido à dificuldade de organização das ideias e ao gerenciamento de conflitos. O *brainwriting* é a aplicação da técnica do *brainstorm* de maneira silenciosa, proposto para substituir

o *brainstorm* em grupos. “Brainwriting é a geração silenciosa e escrita de ideias por um grupo de pessoas”. ([VANGUNDY, 1984](#))

Existem 6 maneiras distintas de se fazer um *brainwriting*, são elas:

- *Nominal Group Technique* (NGT)
- *Collective Notebook* (CNB)
- *Brainwriting Pool*
- *Pin Cards*
- *Battelle-Bildmappen-Brainwriting* (BBB)
- *SIL Method*

Para execução do *brainwriting* no nosso contexto, foram feitas algumas adaptações a partir do entendimento e da aplicação de cada uma das técnicas. Foi utilizada uma combinação das técnicas *Brainwriting Pool* e *Nominal Group Technique* (NGT), resultando na seguinte definição:

- O organizador deve identificar um tema central da sessão, um problema;
- Cada participante vai usar seu espaço no MIRO para fazer um *brainstorm* silencioso durante 5 minutos cronometrados;
- Após os primeiros 5 minutos, os participantes vão usar o espaço do colega do lado pra fazer suas próprias anotações por mais 5 minutos (pode-se repetir);
- Após a segunda ou terceira interação (dependendo do organizador), cada participante volta para seu espaço e lê suas ideias para o grupo. Nessa etapa, os integrantes podem fazer perguntas e comentários para ajudar a entender melhor a ideia em questão;
- Após todos os integrantes terem lido e entendido o que foi feito, todas as ideias serão agrupadas de acordo com sua similaridade ou proximidade;
- Cada participante receberá 1 estrela, 3 triângulos e 5 bolas. Os elementos valem: estrela - 5 pontos, triângulo 3 pontos, bola 1 ponto;
- Critério de desempate: o critério de desempate é a quantidade de elementos com pontuação maior. Os integrantes terão 5 minutos para distribuir seus pontos entre as ideias selecionadas na etapa anterior;

- Ao fim da dinâmica, é feita a contagem dos pontos e a eleição das ideias que serão aproveitadas pelo grupo, em ordem de prioridade.

Utilizando essa metodologia, conseguimos estabelecer uma visão compartilhada junto à equipe e aos demais envolvidos sobre o produto que seria desenvolvido. O artefato gerado, Figura 2, ajuda tanto a manter o foco e a clareza dos objetivos do produto quanto a proporcionar a horizontalidade e a distribuição de conhecimentos em relação a esse produto. O mesmo pode ainda ser acessado [aqui](#).

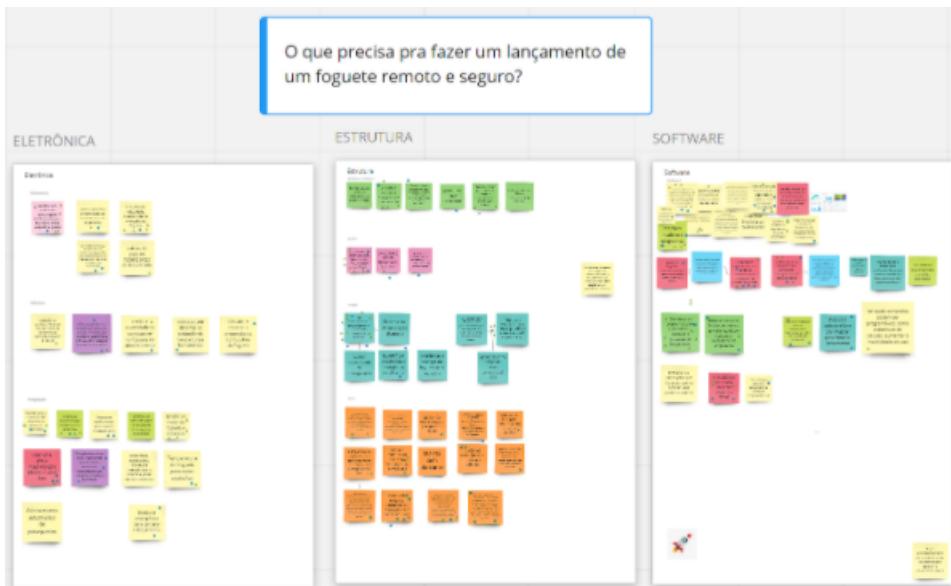


Figura 2 – Brainwriting.

3.1.1.3 Storyboard

Sob a perspectiva de modelos de desenvolvimento, já é comum o uso de histórias de usuários como um aspecto fundamental quando se trata de adotar o modelo *eXtreme Programming*. A ideia consiste em fornecer uma visão de alto nível dos requisitos de um sistema, usadas como principal entrada de informações sobre estimativas e cronogramas, além de guiar a identificação de tarefas de desenvolvimento e conjunto de testes de aceitação (AMBLER, 2004).

O *storytelling* geralmente concentra-se em três linhas de pesquisas distintas: Geração, Intereração ou Visualização das histórias (??). Assim, nesta etapa do trabalho, a ênfase será na linha de construção que remete a forma como a história é gerada, ou seja, como se dá a elaboração da estrutura que irá guiar aspectos mais gerais, como personagens, ações, objetos e relacionamentos entre usuário e desenvolvedor para que essas especificações sejam geradas.

Storytelling é um novo paradigma de entretenimento digital que está avançando a passos largos, com a criação de técnicas e ferramentas que permitem que histórias interati-

vas possam ser criadas, visualizadas e guiadas com o auxílio do computador (??). Por fim, a “Exibição” trata a forma de representação gráfica da história, ou seja, a transformação das abstrações das estruturas internas dos personagens em ações realistas dentro de um espaço gráfico.

Contudo, *storytelling* é mais do que um método baseado no ato de contar uma história. Tem como finalidade a captura e a transmissão de conhecimento de forma estruturada. A metodologia adotada pela equipe entrelaça conceitos de RUP e ágil, o que faz que o dinamismo e a relação com o *stakeholder* sejam de fácil acesso e de muita troca de informações, tornando os requisitos mutáveis e adaptáveis à medida que o processo acontece.

Com base nesse contexto, o *storytelling* tem como objetivo assegurar a construção das histórias de usuário com o intuito de prevenir e corrigir as falhas de comunicação e conceito de escopo que possam existir durante o processo.

O artefato que foi gerado pela equipe pode ser conferido nas Figuras 3 e 4:

"Guto é um integrante de uma equipe de competição universitária de lançamento de foguetes de pequeno porte e comumente enfrenta problemas com o lançamento dos foguetes da equipe por conta da necessidade da execução manual obrigatória de rotinas de lançamento.

Além disso, as informações a respeito do lançamento e do desempenho do foguete são turvas e só podem ser obtidas após a recuperação do foguete, que acontece depois da competição.



Figura 3 – Storytelling: Página 1

Passando por essas dificuldades, Guto imaginou um dispositivo que fosse portátil, para que ele pudesse levá-lo às competições, e que pudesse realizar as tarefas de rotina de lançamento de forma remota e realizar a coleta e exposição das informações durante a fase de vôo e lançamento para que através da análise dos dados ele possa melhorar os próximos lançamentos.

Assim surgiu o GCS , um dispositivo portátil, que, além de sanar as dificuldades de Guto, é portátil, seguro, e projetado por meio do método “user centered design”, para que as suas funcionalidades sejam intuitivas e de fácil usabilidade para o usuário.



As informações obtidas são armazenadas e podem ser posteriormente convertidas em análises com o objetivo de melhorar as missões futuras e o desempenho do lançamento.

O sistema pode se comunicar à distância com o foguete realizando as rotinas de lançamento de forma remota e segura! Além disso, pode extrair informações pertinentes durante todo o processo para que sejam analisadas e também mostra informações sobre o tempo, condições de voo e missões passadas.

Figura 4 – Storytelling: Página 2

O sistema pode-se comunicar à distância, com o foguete realizando as rotinas de lançamento de forma remota e segura! Além disso, pode extrair informações pertinentes durante todo o processo para que sejam analisadas e também mostra informações sobre o tempo, condições de voo e missões passadas."

3.1.2 Arquitetura da informação

A arquitetura da informação é a ciência de organizar e categorizar *web sites*, intranets, comunidades *online* e *softwares*, para favorecer a usabilidade e a facilidade, para se encontrar o que se procura. Ou seja, é a estruturação de toda a informação disponível em um site ou aplicação, para que os usuários possam encontrar fácil e rapidamente o que procuram. E o arquiteto de informação é, na essência, o responsável por isso (ALBUQUERQUE; MARQUES, 2011).

Durante a execução desta etapa do projeto, a equipe dedicou-se a executar atividades que fossem relacionadas aos princípios do *User Centered Design*, e, com base nisso, à elaboração de artefatos que ajudassem a construir uma interface intuitiva para o usuário. Os artefatos elaborados pela equipe podem ser conferidos nas sessões seguintes.

3.1.2.1 Wireframe

Os *wireframes* são diagramas de baixa fidelidade que representam o layout de um site ou aplicação. A sua relevância no processo de *design* deve-se ao fato de permitirem explorar, testar e iterar ideias de *design* numa fase inicial do projeto, momento em que as mudanças não vão aumentar o orçamento do trabalho. É importante que as pessoas responsáveis pela criação de conteúdo estejam envolvidas no processo de *wireframing* (BRITO, 2016).



Figura 5 – Wireframe

Com o objetivo de testar as possíveis versões da interface e iterar a organização estrutural da informação da aplicação, a equipe elaborou um *wireframe*, que foi validado com os usuários e *stakeholders*. Esse artefato é apresentado na Figura 5 e também pode ser visualizado [aqui](#).

3.1.2.2 Protótipo de média fidelidade

A prototipação no desenvolvimento de *software* é um processo que tem como função avaliar as ideias geradas e validar – ou não – todos os requisitos estabelecidos (LILLEY; BARKER; BRITTON, 2004). É nesse momento que a equipe tende a tirar as ideias do papel e passar a entendê-las na forma física.

Essa etapa é importante para verificar se a solução desenhada está adequada ao desafio que o cliente enfrenta, garantindo o alinhamento das informações. Dessa forma, consegue-se minimizar os riscos, permitindo que o cliente valide e faça todos os testes antes da implantação. É importante ressaltar que a fase de prototipação pode – e muitas vezes deve – ser realizada em diversos momentos, já que se verificam falhas de forma ágil, chegando assim a uma solução de software mais assertiva.

Apesar de já serem definidos diversos requisitos antes do desenvolvimento do *software*, é durante a interação real do usuário com o sistema que os novos detalhes são percebidos. Para isso, a equipe realizou a elaboração de protótipos de baixa e média fidelidade, com a colaboração dos usuários e *stakeholders*. As versões dos protótipos podem ser conferidas a seguir:

Protótipo V0.

Protótipo V1.

Protótipo V2.

3.1.3 Definição do produto

O projeto aplica-se a um contexto de competições de lançamento de foguetes experimentais, onde cada equipe constrói seu foguete com base no regulamento da competição. Os projetos necessitam estar adequados o melhor possível às regras para obter uma boa pontuação. Devido à dinamicidade dos projetos e da baixa restrição de *hardware* das competições, temos diversas configurações de *hardware*. Nesse contexto, os sistemas de *software* têm uma grande necessidade de adequação e adaptação aos diferentes *hardwares* possíveis.

O produto de *software* visa auxiliar o controle e monitoramento do lançamento de um foguete experimental para competições, provendo segurança, controle e visão de uma missão¹. O sistema irá atuar em 3 momentos na competição:

- abastecimento e ignição do foguete;
- foguete em voo;

¹ Uma missão é todo o processo de lançamento de um foguete em uma competição. Vai desde a preparação para o abastecimento até a coleta do foguete após pousar.

- foguete em pouso.

Em ambos os momentos da competição, o sistema comunicar-se-á com *hardwares* externos para fazer as leituras e enviar comandos de controles. Para tornar o produto de software valioso para os clientes, é fundamental satisfazer os objetivos e restrições expostos. Assim, faz-se necessária a construção de um sistema que permita a visualização e controle dos processos da missão, a partir de dados de telemetria e comandos para o *hardware*, sendo estes configuráveis. Portanto, podemos definir as principais funcionalidades do sistema como:

- Possibilitar a leitura e exposição dos dados de telemetria do foguete:
 - GPS;
 - Altitude;
 - Velocidade;
 - Temperatura;
 - Pressão;
 - Giroscópio;
 - Peso (em solo);
- Possibilitar comandos de ignição, abastecimento e abertura do paraquedas;
- Possibilitar configuração dos comandos e protocolos necessários para se comunicar com diferentes *hardwares*;
- Armazenar os dados de maneira segura.

3.1.3.1 Mapa de requisitos

Neste projeto, aplicamos técnicas de mapa mental para fazer a especificações de requisitos (HAENDCHEN, 2015). Utilizamos a ferramenta **Mind Meister** para construir o mapa mental. A partir da nova definição de produto, foi feito um mapa de requisitos demonstrando todos os requisitos do projeto. A Figura 6 apresenta os épicos, ou principais funcionalidades: **Gerenciar Foguetes**; **Gerenciar Missões**; **Gerenciar Hardware**; e **Comunicar com o Micro Controlador**. Essas informações também estão disponíveis [aqui](#).

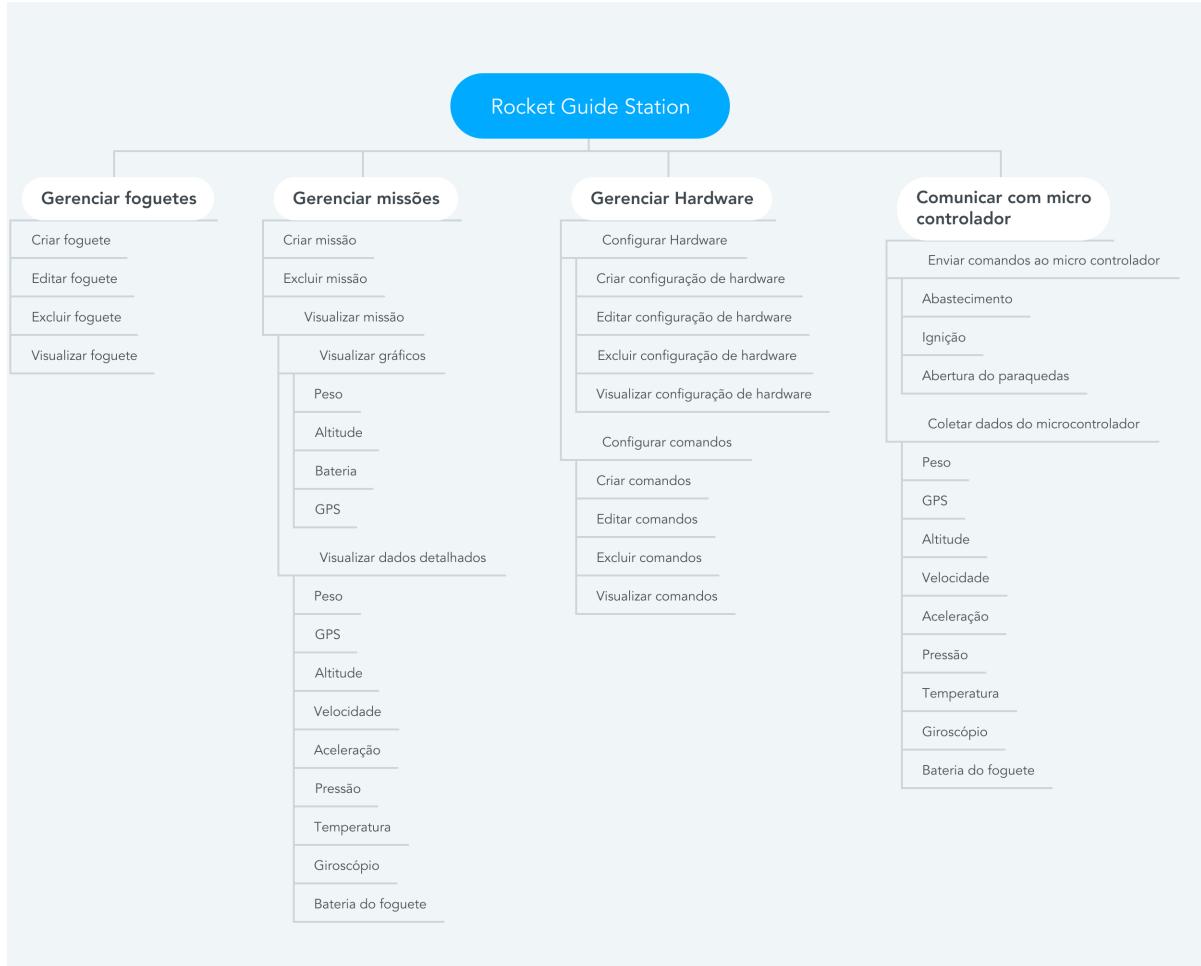


Figura 6 – Mapa de requisitos

3.2 Definição da Arquitetura

3.2.1 Padrão Arquitetural

De acordo com o problema que o projeto visa resolver, a solução técnica proposta será embasada na arquitetura REST. A arquitetura *Representational State Transfer* (REST), em português Transferência Representacional de Estado, é ideal ao nosso sistema, pois ele possui baixa complexidade e necessidade de utilização dos dados em tempo e estado definidos. De acordo com (VILLAMIZAR et al., 2015) em suas conclusões, um sistema nem sempre se encaixa no perfil de um arquitetura distribuída, como a arquitetura micros-serviços, que, se aplicada de modo equivocado, pode prejudicar o bom andamento do projeto, pois exige maior complexidade no desenvolvimento e implantação do sistema, concluindo que esse tipo de arquitetura não deve ser aplicada a *softwares* simples e com baixo grau de complexidade.

A complexidade de um sistema nada diz sobre a eficiência e eficácia deste. Nossa solução proverá uma comunicação necessária para que as regras de negócio sejam aplica-

das, satisfazendo as expectativas dos usuários e clientes. Após um estudo, foi verificado que uma *Application Programming Interface* (API), em português Interface de Programação de Aplicativos, que seja RESTful, ou seja, capaz de implementar a arquitetura REST, é ideal para o problema proposto.

No diagrama com protocolos de comunicação entre componentes do software, Figura 8, vemos que a comunicação entre os componentes do sistema deve ser planejada de maneira sistemática, e esse foi o caso. O sistema será construído usando a linguagem de programação JavaScript. O uso de JavaScript é bem comum para os *browsers*, porém é necessários ajustes para a sua utilização a nível de *backend*. Esses ajustes são realizados pelo *runtime* Node.js, um ambiente em tempo de execução capaz de rodar um servidor *web* local na porta 4200 como padrão. O Node.js, além de permitir a execução de código localmente fora no navegador, é responsável também por gerenciar pacotes e empacotar tudo que é necessário para executar e interpretar código JavaScript.

Na Figura 7 vê-se a lógica por trás da aplicação da linguagem *JavaScript* em nossa API.

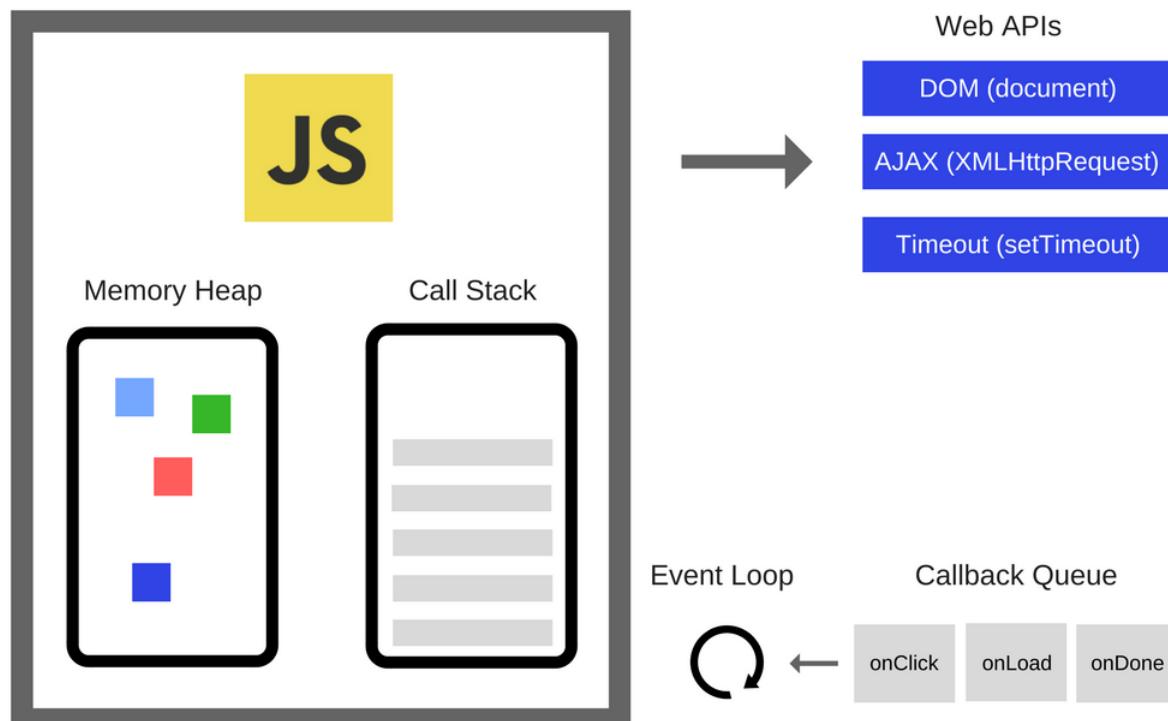


Figura 7 – Modo como o JavaScript é executado fora do browser

Fonte: ([SACHDEVA, 2019](#))

3.2.2 Representação da Arquitetura

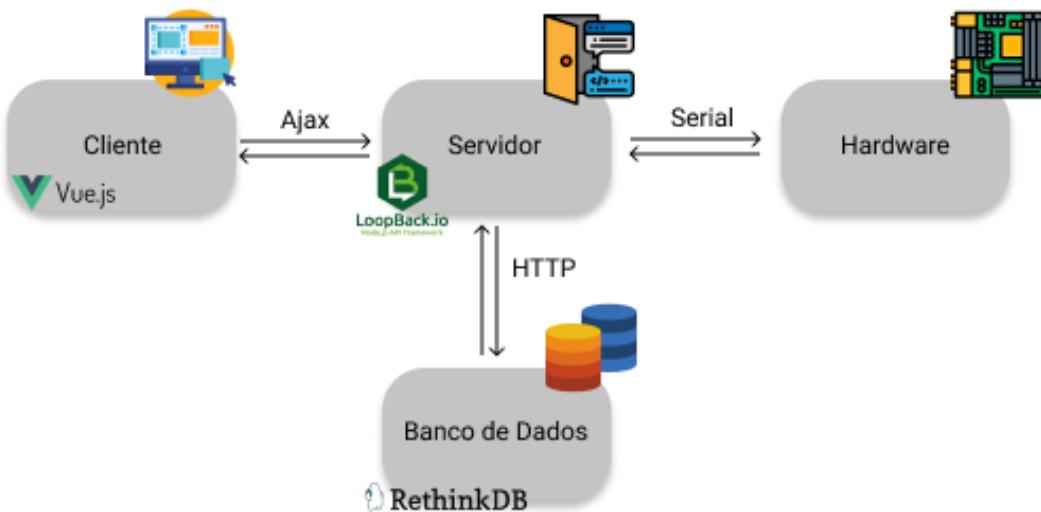


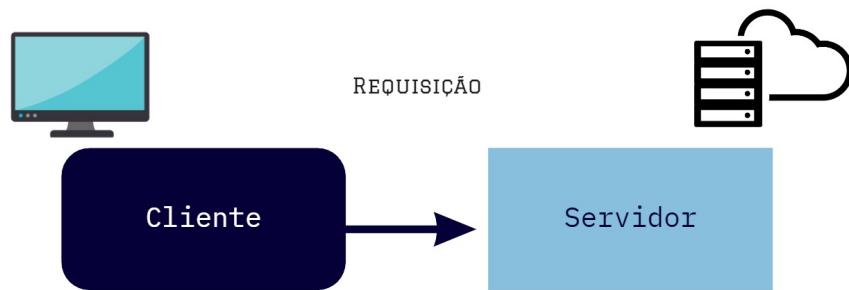
Figura 8 – Representação da Arquitetura

3.2.2.1 Cliente

Em aplicações *web*, é muito comum adotar o conceito de *Client-side* e *Server-side* dentro da arquitetura em camadas (ISKANDAR, 2020). Nossa aplicação não será essencialmente *web*, já que não será possível executar um *browser* e também ter acesso à internet, assim como citado na Seção 3.6 deste documento. Porém, vamos usar uma tecnologia inovadora implementada pelo *framework* JavaScript Electron.js, que possibilita o desenvolvimento de aplicações *desktop cross-platform*, em português seria algo como uma mescla de tipos de plataformas (*web* e *desktop*), utilizando ferramentas *web* como JavaScript, HTML e CSS (OPENJS, 2020).

O ciclo de vida do lado do Cliente (*Client-side*) é representado na Figura 9. O JavaScript faz requisições, ações que o usuário deseja executar ao utilizar a interface da aplicação, por meio de chamadas AJAX (Asynchronous JavaScript And XML), em português seria algo como JavaScript assíncrono + XML (MOZILLA, 2020a). Com essa tecnologia, uma aplicação *web* é capaz de realizar atualizações incrementais na interface apresentada ao usuário.

A tecnologia que será usada é o Vue.js um *progressive framework*, em português "*framework* progressivo", em JavaScript para o desenvolvimento no *Client-side* (AUTOCODE, 2020) e também fazendo uso do "axios" que é um cliente HTTP baseado em *promises*, que é um objeto usado para processamento assíncrono (MOZILLA, 2020b). Nesse contexto, o desenvolvimento *frontend* será responsável por criar a interface gráfica e também a comunicação entre *Client-side* e *Server-side*.

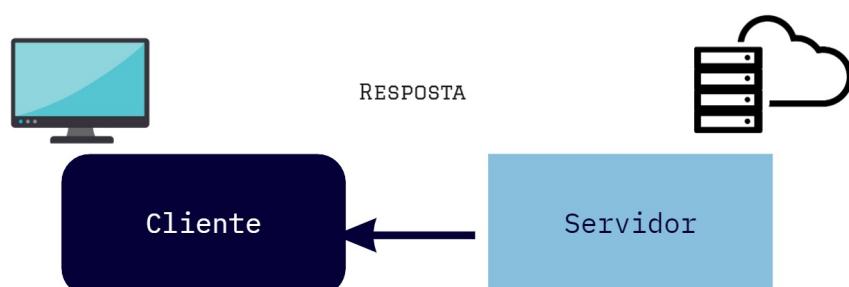


miro

Figura 9 – Cliente da aplicação Desktop

3.2.2.2 Servidor

Do lado do servidor, *Server-side* Figura 10, temos recebimento de requisições por parte do cliente, o processamento lógico e, por fim, o envio da resposta correspondente ao cliente.



miro

Figura 10 – Servidor da aplicação Desktop

Faremos uso de uma API Rest escrita em JavaScript, por meio do Framework Loopback, um *framework* altamente expansível baseado no famoso Express e em Node.js + Typescript (IBM, 2020). Dessa forma, poderemos criar serviços REST que serão consumidos pelo Cliente por meio de *endpoints*.

Para o *pipeline* de funções que manipulam as requisições e respostas HTTP que serão necessárias para a comunicação com o Banco de dados, faremos o uso de *middleware*. Esse tipo de metodologia de processamento implementa o padrão de projeto *Chain of Responsibility* (GAMMA, 1994), o qual é desenhado para desacoplar o envio e recebimento de mensagens dividindo a tarefa de manipulá-las entre múltiplos objetos tal como na Figura 11.

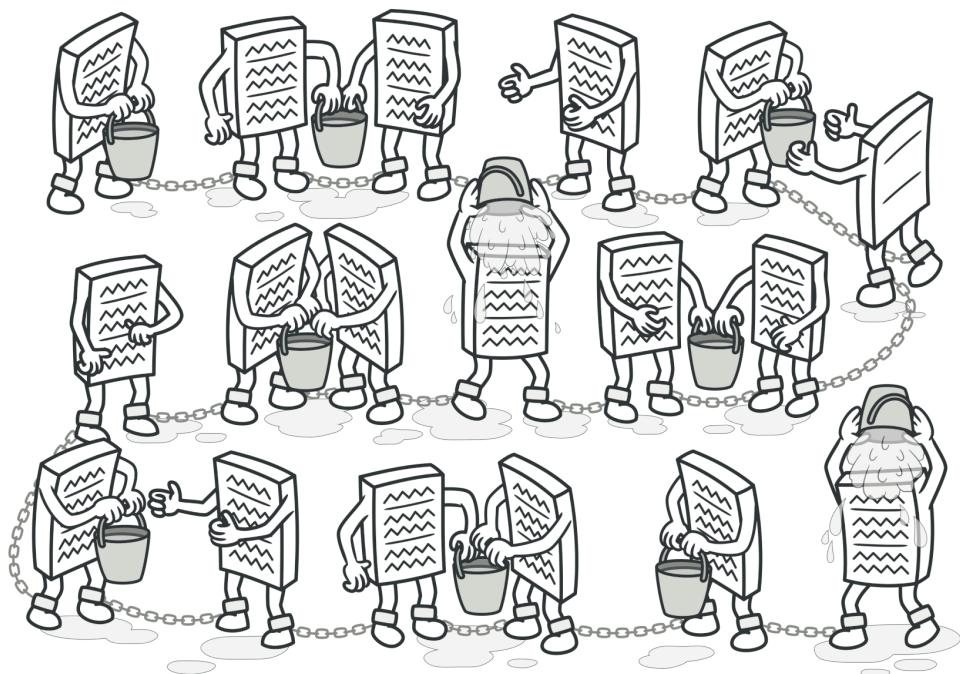


Figura 11 – Padrão de Projeto Chain of Responsibility (GURU, 2020)

Com o *Loopback*, podemos criar uma sequencia de funções que realizam o processamento adequado de mensagens conforme representado na Figura 12 (IBM, 2020).

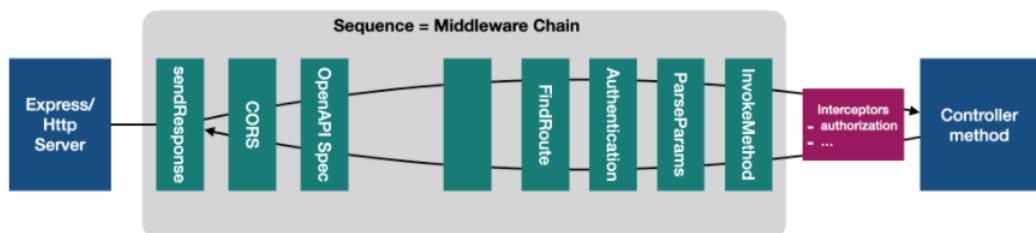


Figura 12 – Sequência baseada em Middleware (IBM, 2020)

3.2.2.3 Banco de Dados

Para oferecer uma experiência satisfatória ao usuário da aplicação, os dados devem ser apresentados em tela em tempo real. Nossa base de dados deve ser capaz de detectar qualquer mudança realizada em seu armazenamento. Para isso, optamos por usar a tecnologia do banco de dados RethinkDB, um banco de dados *open-source* capaz de realizar envio de dados no formato JSON em tempo real.

Além disso, é um banco de dados NoSQL, que nos permite flexibilidade se comparado com bancos SQL, mas que mantém a organização a nível de modelagem de dados. A tecnologia por trás disso é a *schemaless JSON documents*, um armazenamento de documentos JSON não esquematizado. Todos os documentos NoSQL armazenam suportam as mesmas operações básicas:

- criar ou apagar registros de uma coleção;
- criar, recuperar, atualizar ou deletar um documento;
- consultar uma coleção;
- criar ou apagar registros de índices.

Dessa forma, teremos uma ferramenta poderosa para manipular nossos dados. Diferentemente de bancos SQL, os arquivos são escritos em documentos, com estruturas semelhantes às Figuras 13 e 14.

```
{
    "PrimeiroNome": "Gabriela",
    "Idade": 26
}
```

Figura 13 – Documento em formato JSON

```
<pessoa>
    <primeironome>Yakov</primeironome>
    <idade>26</idade>
</Pessoa>
```

Figura 14 – Documento em formato XML

3.2.2.4 Hardware

A comunicação entre o *hardware* e o *software* do projeto é feita via porta serial. Em fase experimental, iremos fazer um *script* para simular o funcionamento dessa integração e relatar o desempenho possível e desejado. Até o momento, não foram encontradas evidências de que o *script* não poderá ser escrito em JavaScript, já que existe a biblioteca Serialport.js ([NODE, 2020](#)) que dá o necessário suporte a esse tipo de comunicação. Porém, caso haja qualquer problema de compatibilidade, faremos uso do padrão de projeto Adapter, que tem como objetivo prover uma interface que liga objetos com diferentes tipos de linguagem e protocolos de comunicação. O padrão é representado pela Figura 15.

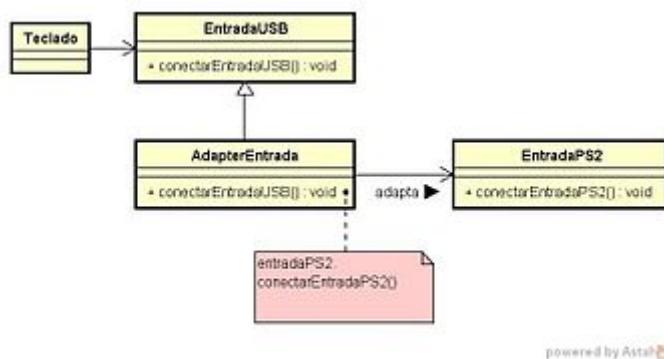


Figura 15 – Padrão de projeto Adapter ([WIKIPEDIA, 2020](#))

3.2.3 Ambiente

Tendo em vista a arquitetura do projeto e a falta da placa para testar o sistema nas condições reais, foi adotada a estratégia de conteinerização dos serviços. Assim é possível isolar os ambientes, bem como facilitar a configuração do ambiente de produção (já embarcado no dispositivo). Para isso, foram utilizadas as seguintes tecnologias:

- Docker ([DOCKER, 2020](#))
- Docker - Compose ([COMPOSE, 2020](#))

3.2.4 Arquitetura computacional

O sistema será desenvolvido para ser executado em um computador de arquitetura 64 bit ARM (Arm64) e um sistema operacional que opere nessa mesma arquitetura ([DEBIAN, 2020](#)).

3.3 Diagrama de Sequência

O principal objetivo do diagrama de sequência é verificar se ele é consistente com a declaração dos requisitos, bem como com sua estrutura de árvore bem formada. Enquanto isso, a construção do diagrama é definida em termos das transições de estado, que são realizadas pelas invocações de método no diagrama, representados no nosso contexto por Cliente, Servidor, Banco de Dados e Micro Controlador. Quando uma mensagem é executada, ela deve ser consistente com o estado do sistema, e com as dependências de transações entre os estados (LI; LIU; JIFENG, 2004).

Para garantir um alinhamento e uma comunicação de qualidade com os componentes de eletrônica, esse diagrama foi evoluído para garantir a documentação e a estruturação da comunicação entre os times. A Figura 16 apresenta a fase de missão, onde o usuário solicita o início da ignição à camada da interface, que por sua vez, solicita ao servidor (camada da API), que consulta o comando a ser enviado ao hardware no banco de dados, e ao obter essa informação envia o comando. Após receber o comando e iniciar o processo, o sistema receberá uma confirmação do início. Após confirmar o início do processo de ignição, é realizada a troca da comunicação que antes era feita com o microcontrolador da base e que agora será feita com o foguete, para receber as informações do voo. A atualização das informações para o usuário é iniciada em um loop, como apresentado no Apêndice E, Figura 108. Que apresenta o loop que é executado durante todo o processo para coletar as informações dos sensores e armazenar no banco de dados. As Figuras 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113 apresentam respectivamente o processo de lançamento do foguete pela estação desenvolvida.

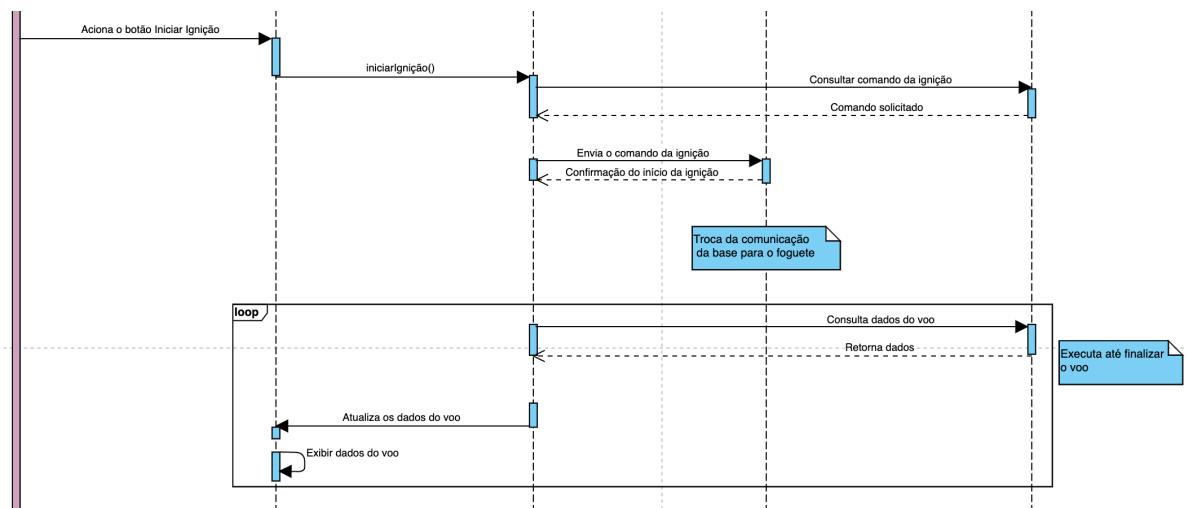


Figura 16 – Diagrama de sequencia representando o processo da ignição do foguete. Fonte: Autor

Nós construímos o diagrama de sequência, presente no Apêndice E, com o objetivo

de alinhar o processo de lançamento e especificar os requisitos.

3.4 Modelagem de Dados

A modelagem dos dados foi feita com base nos requisitos e utilizando o *software* BrModelo. Primeiro, optamos por fazer o modelo conceitual especificar em um nível mais alto as entidades e seus relacionamentos. A Figura 17 apresenta as entidades: **Foguete**, **Missão**, **Temperatura**, **Velocidade**, **GPS** e **Pressão**, mantendo um relacionamento. As entidades **Hardware** e **Comando** não possuem relação com a entidade Foguete e Comando, pois se trata de uma configuração presente na *Ground Station* apenas, não interagindo assim diretamente na Missão e no funcionamento do Foguete.

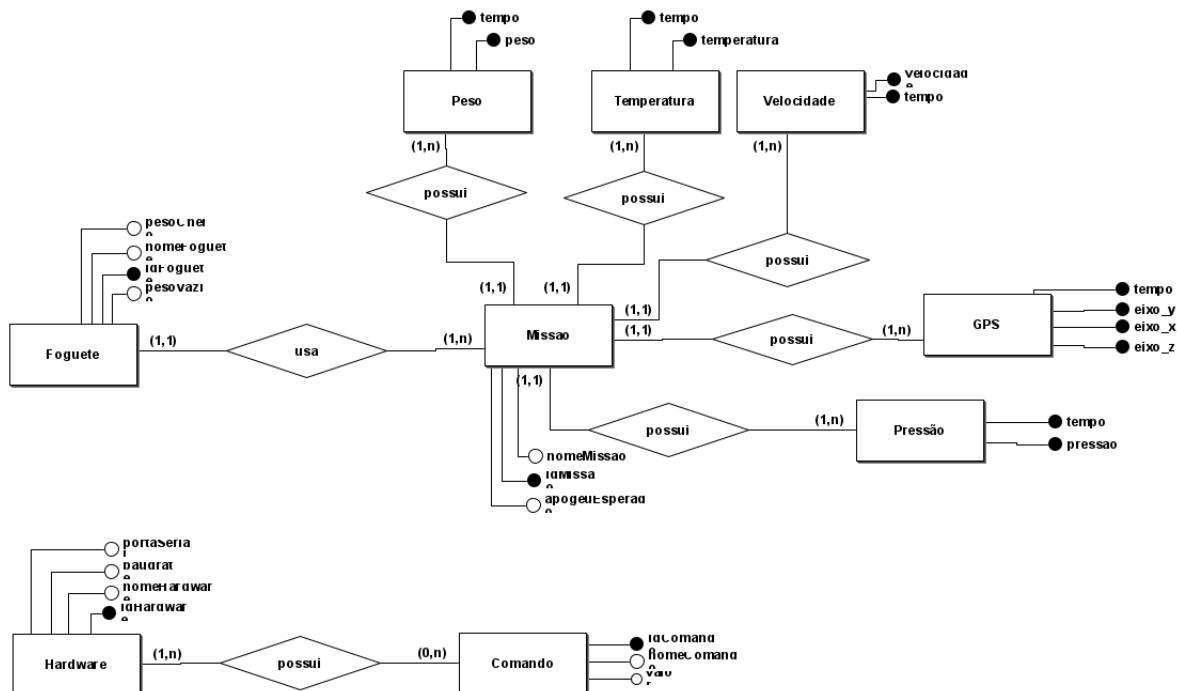


Figura 17 – Modelo Conceitual da modelagem.

Em seguida, foi gerado o modelo lógico da implementação para representar as tabelas junto com as chaves primárias e estrangeiras. A Figura 18 apresenta essa implementação.

3.5 Diagrama de Pacotes

A Figura 19 apresenta o diagrama de pacotes do backend do projeto. Ele contem a estrutura de pastas utilizada para o desenvolvimento utilizando loopback4.js. Essa estrutura apresenta as pastas e as relações entre elas para o funcionamento do projeto.

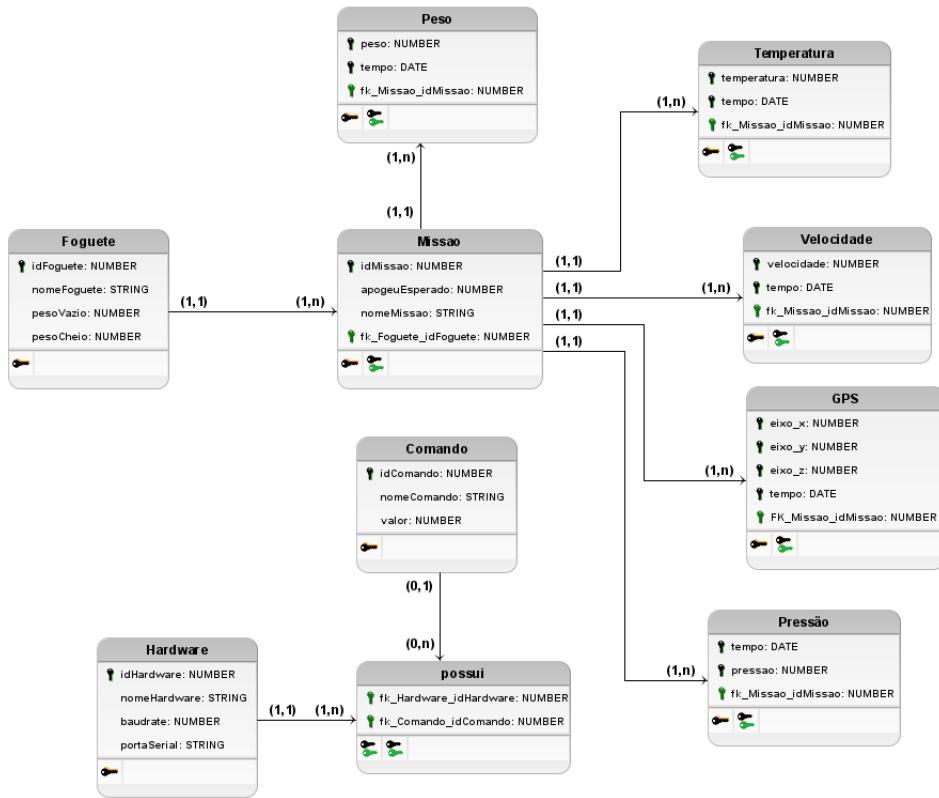


Figura 18 – Modelo Lógico da modelagem

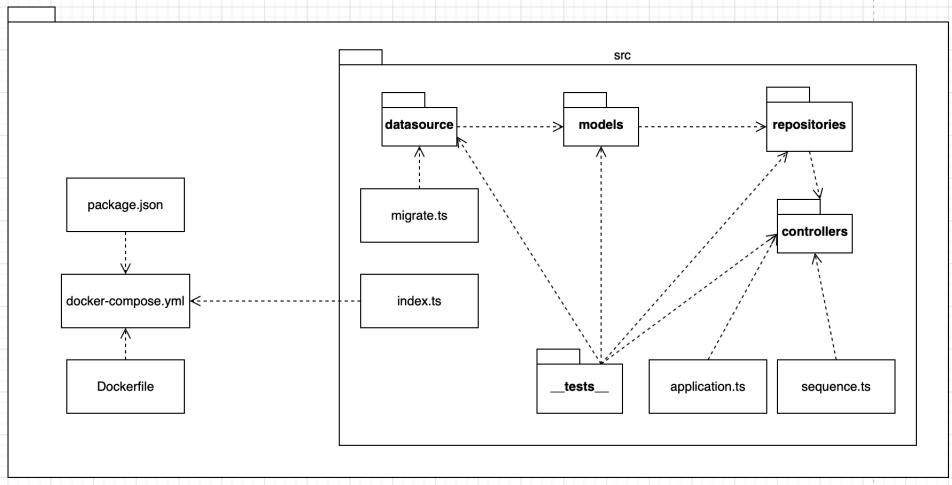


Figura 19 – Diagrama de representação dos pacotes e as relações do Back end

A Figura 20 apresenta a organização de pacotes do front end a partir de um diagrama de pacotes. O Vue.js é organizado de uma forma em que os arquivos das *Views* e das *Models*, representado pela pasta *Store*. Além disso, o Vue permite a criação de componentes, que ficam armazenados na pasta *Components* e podem ser utilizados em páginas das *Views*.

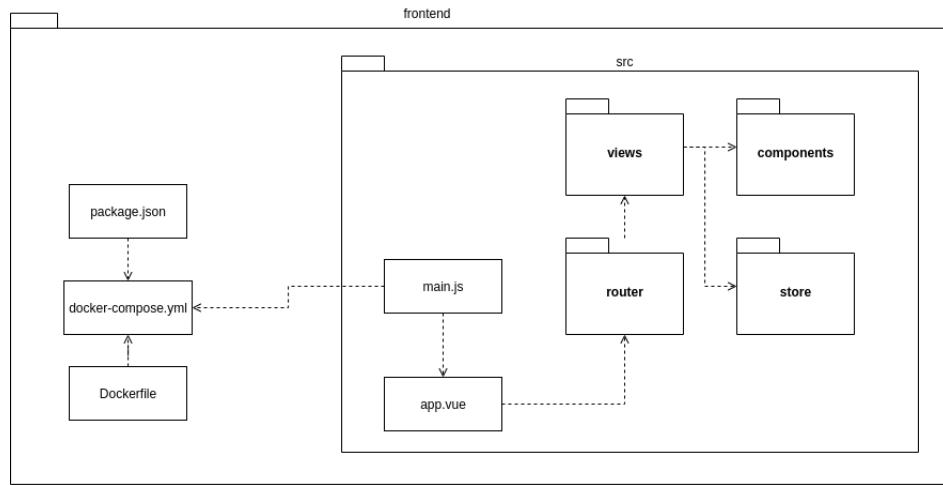


Figura 20 – Diagrama de representação dos pacotes e as relações do Front end

3.6 Metas e restrições de arquitetura

3.6.1 Metas

- Auxiliar o usuário no lançamento e acompanhamento de voo de um foguete experimental.
- Armazenar dados dos lançamentos de forma sistemática.
- Ter uma interface intuitiva e de fácil utilização, para agilizar o processo de lançamento do foguete e análise dos dados pós voo.
- Possibilitar o controle do lançamento e acompanhamento do voo do foguete.

3.6.2 Restrições

- O sistema não terá acesso a internet.
- Deve ser executado em microcomputador com recursos limitados.
- Realizar *streaming* de dados obtidos do foguete em tempo de execução.
- Disponibilizar dados armazenados em CSV para exportação via cartão SD.
- Utilizar ambiente containerizado, Docker, para virtualização do ambiente, a fim de poder simular o comportamento do software, já que não teremos a placa para fazer os testes.
- Deve ser utilizado um computador de arquitetura 64 bit ARM, Arm64, e um sistema operacional compatível.

3.7 Inovação

Como proposta de inovação, foi definida pela equipe, que o produto seria construído com base na metodologia do *User Centered Design*. Por isso, todo o processo de elaboração e construção do produto, dês da sua ideação até a sua execução foram pautados nas regras da metodologia, e com base a equipe se aprofundava na obtenção de conhecimentos relacionados ao tema, os documentos iam sendo elaborados, revisados e refinados.

3.8 Descrição do problema e proposta de inovação

O User Centered design é o processo que foca nas necessidades e desejos dos usuários para o desenvolvimento de serviços ou produtos. A aplicação consistente de fatores humanos, ergonomia, usabilidade e outras técnicas é o que permite envolver os usuários no processo de elaboração do produto, junto à equipe de desenvolvimento.

O objetivo disso é criar sistemas altamente úteis e acessíveis, apontando na direção da satisfação dos usuários, evitando efeitos negativos na performance. É colocar cada pessoa para a qual o produto foi destinado no coração da experiência.

Comumente, os produtos de estações de controle terrestres são sistemas que são construídos visando tecnicidade e com pouco foco nas demandas reais dos usuários e pouca customização para cada caso específico. Assim, o design focado no cliente pode não apenas fornecer resultados reais e mensuráveis, mas também proporcionar uma vantagem competitiva diferenciada para o produto, pois foca em ter as necessidades específicas de um nicho de usuário sanadas, baseado em suas demandas em uma construção conjunta.

3.8.1 Como executar um design de produto centrado no usuário

O processo de construção de um user centered design se divide basicamente nas quatro fases a seguir:

- Análise: Essa é a fase de pesquisa, com análise de stakeholders, competidores, desenvolvimento de personas, definição de cenários de uso, condução de estudos de campo e definição de objetivos de usabilidade.
- Design: Durante o design são criados modelos de navegação, fluxos de tela, arquitetura da informação, protótipos, wireframes, design de interação (ui design) e feitos alguns testes de usuário. Todos esses processos se utilizam das informações coletadas na análise para serem feitos pensando no usuário.
- Implementação : Durante a implementação, é finalizado o design orientado à objetos, a integração de interfaces de design, implementação de servers e realizada constante validação com os usuários.

- Desenvolvimento: A parte final é a parte final do desenvolvimento, onde a avaliação contínua e validação com o usuário se transformam em produto a partir das soluções identificadas nas fases anteriores. Nessa etapa, percebe-se a importância de uma construção de produto transparente e objetiva, para que o produto desenvolvido esteja o mais próximo possível do idealizado.

A Figura 21 apresenta o processo de ciclo de vida da metodologia User Centered Design. As etapas subsequentes foram adotadas pela equipe e ajustadas de acordo com as demandas do projeto.

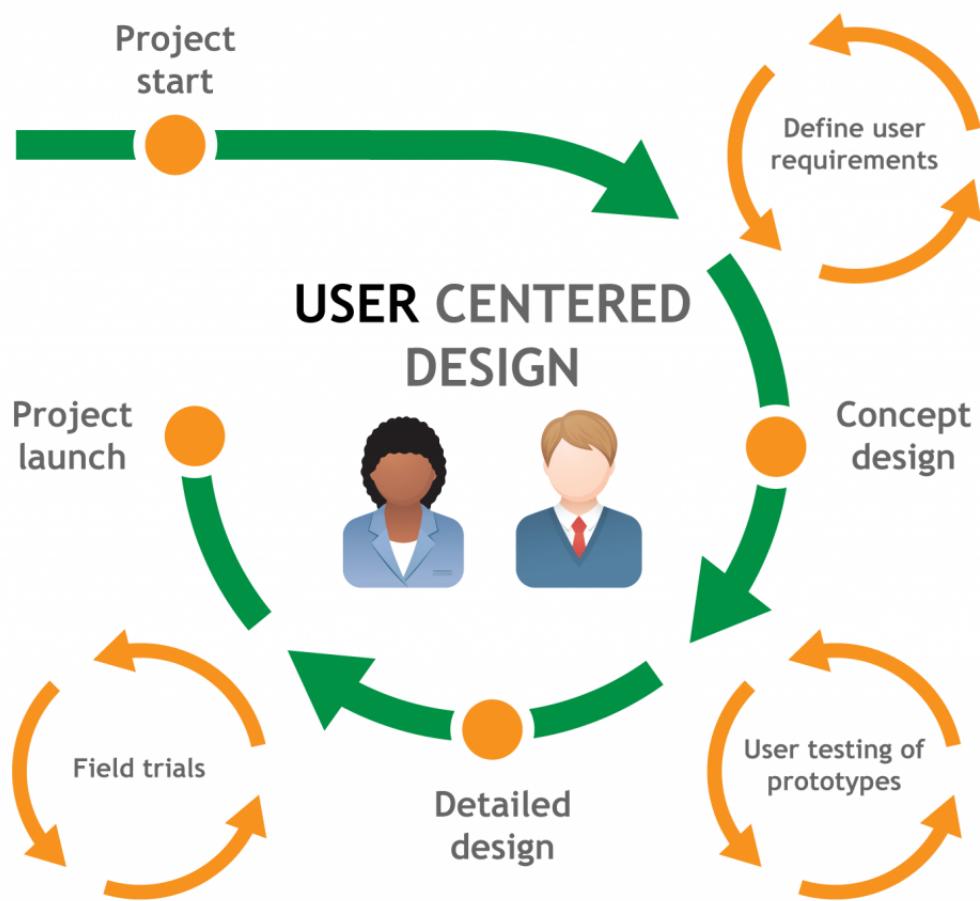


Figura 21 – Ciclo de vida do User Centered Design

3.9 Construção Front end

A construção do Front end foi desenvolvida com base no protótipo apresentado na Sessão 3.1.2.2, utilizando vue.js. Todas as telas apresentadas à seguir foram construídas para garantir controle e monitoramento do usuário antes, durante e depois do processo de lançamento do foguete.

3.9.1 Criação do Foguete

A tela de criação do foguete, apresentada na Imagem 22 é uma das primeiras a ser utilizada pelos usuários. Principalmente no primeiro uso, será necessário cadastrar um foguete, inserindo as informações de peso cheio, peso vazio e o nome do foguete.

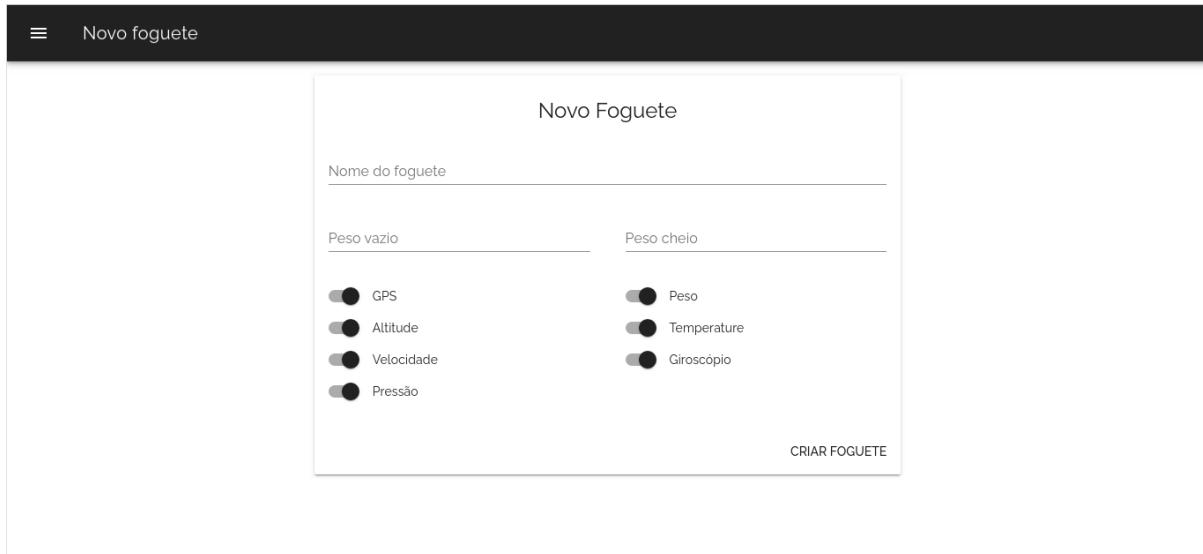


Figura 22 – Tela de criação de foguetes.

Caso o usuário deixe de informar algum dos dados obrigatórios, é feita a validação para informar e impedir que o foguete seja criado fora dos padrões, como apresentado na Figura 23.



Figura 23 – Tela de criação de foguete com erros demonstrando as validações feitas.

3.9.2 Criação de Hardware e Comandos

Uma das principais funcionalidades do projeto, é permitir que o software seja utilizado em diferentes硬wares, caso seja compatível com as especificações técnicas. Portanto, a Figura 24 permite que os usuários informe qual o nome hardware está sendo usado, o Baudrate e a porta serial para a comunicação.

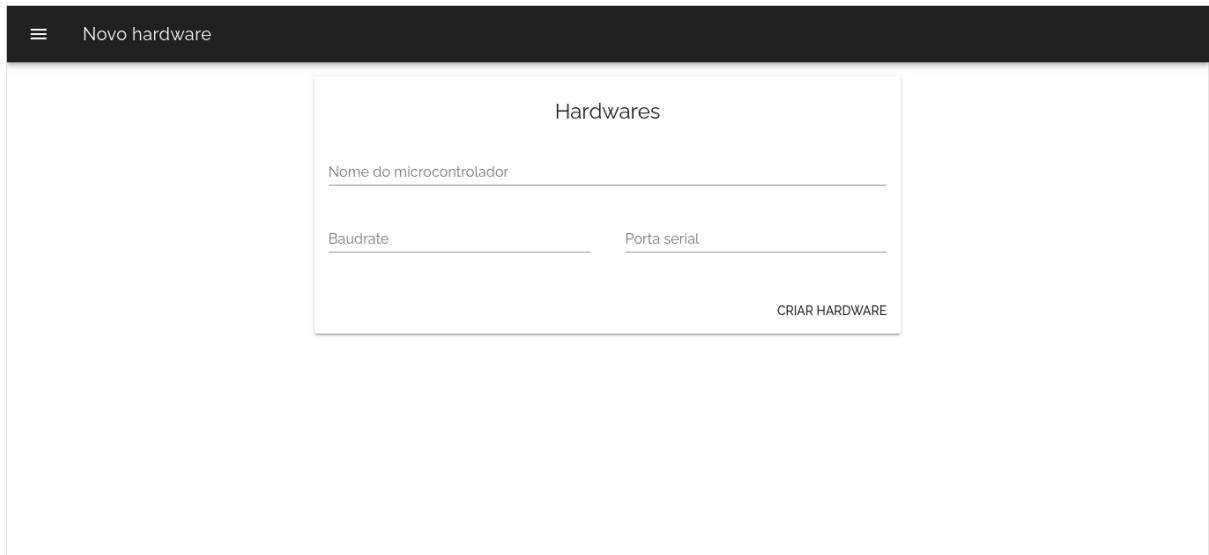


Figura 24 – Tela de criação de hardware

Para garantir o bom funcionamento do sistema, todas essas informações são importantes, portanto foi feito a validação para impedir que o usuário esqueça de inserir alguma informação obrigatória, como apresentado na Figura 25.

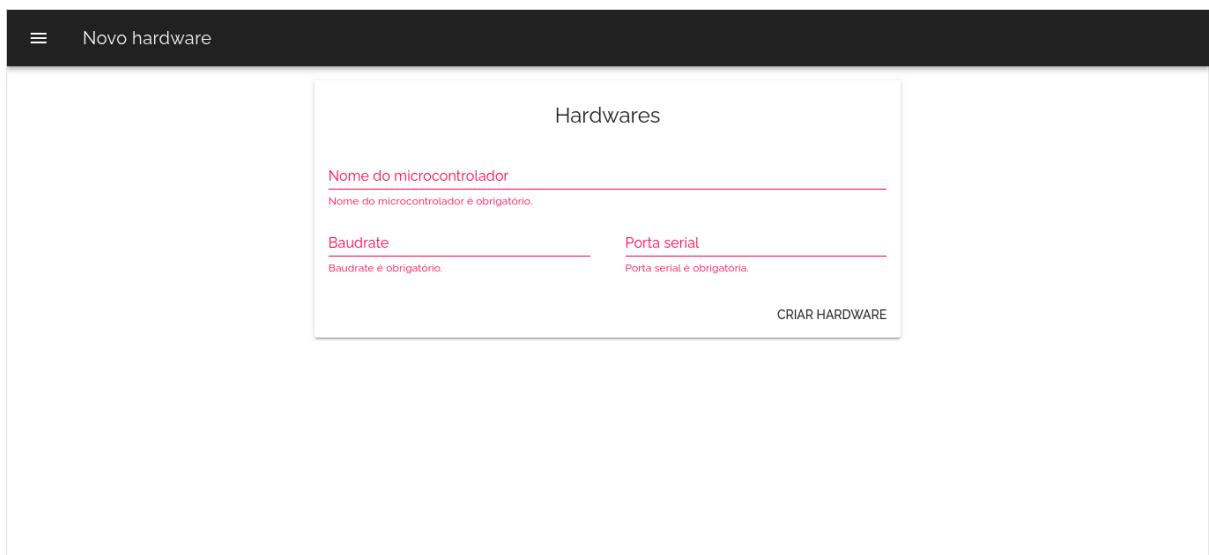


Figura 25 – Tela de criação de hardware com erros demonstrando as validações feitas.

Ao cadastrar o Hardware a ser usado, é necessário informar também quais comandos esse hardware está apto a receber, como apresentado na Figura 26. portanto, os usuários e clientes da Capital poderão inserir quais comandos serão enviados ao hardware

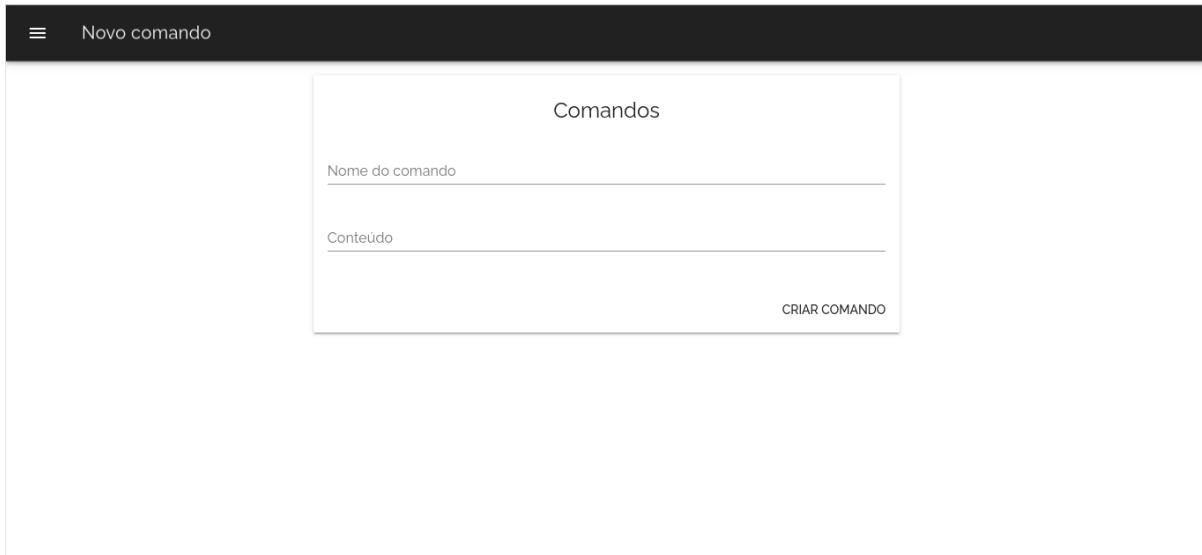


Figura 26 – Tela de criação de comando para o hardware.

3.9.3 Ciclo de missão

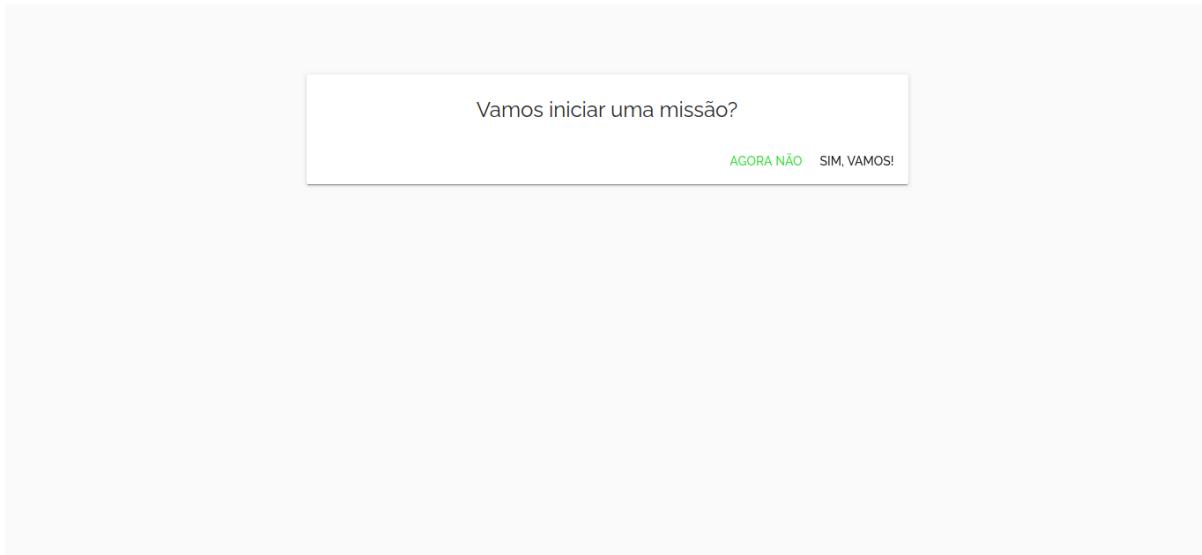


Figura 27 – Tela de inicio de missão.

Após cadastrar o foguete e o hardware que está sendo usado pode se iniciar o ciclo da missão, iniciando na tela apresentada na Figura 27.

Após confirmar a intenção de iniciar uma missão, é solicitado ao usuário o cadastro da missão informando nome e apogeu esperado (Figura 28) e seleciona o foguete como apresentado na Figura 29.

The screenshot shows a mobile-style application interface for creating a new mission. At the top, there is a black header bar with the text "Nova missão". Below this is a white form area with the title "Nova missão" centered at the top. There are two input fields: "Nome da missão" (Mission name) and "Apogeu esperado" (Expected apogee). In the bottom right corner of the form area, there is a button labeled "PRÓXIMO" (Next). The background of the entire screen is light gray.

Figura 28 – Tela para inserção dos dados de uma nova missão.

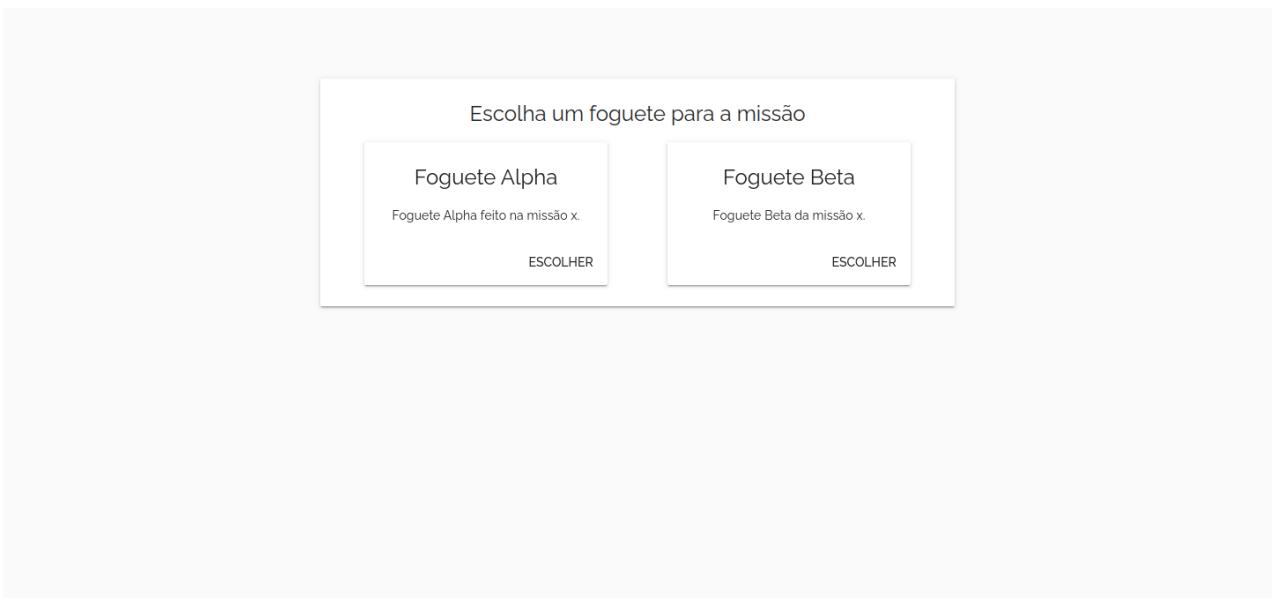


Figura 29 – Tela de escolha do foguete para a missão.

Após todo processo de criação de uma missão, o usuário poderá acompanhar o todas as etapas da missão, começando pela etapa de abastecimento, conforme apresentado na Figura 30.

A Figura 31 mostra o processo de ignição completo, com a porcentagem chegando em 100%. O botão de "Próximo" é habilitado para o usuário prosseguir para a próxima



Figura 30 – Tela inicial da missão, com os dados de abastecimento.

etapa da missão. Em ambos os gráficos utilizados é possível baixar o gráfico em SVG, PNG ou CSV.

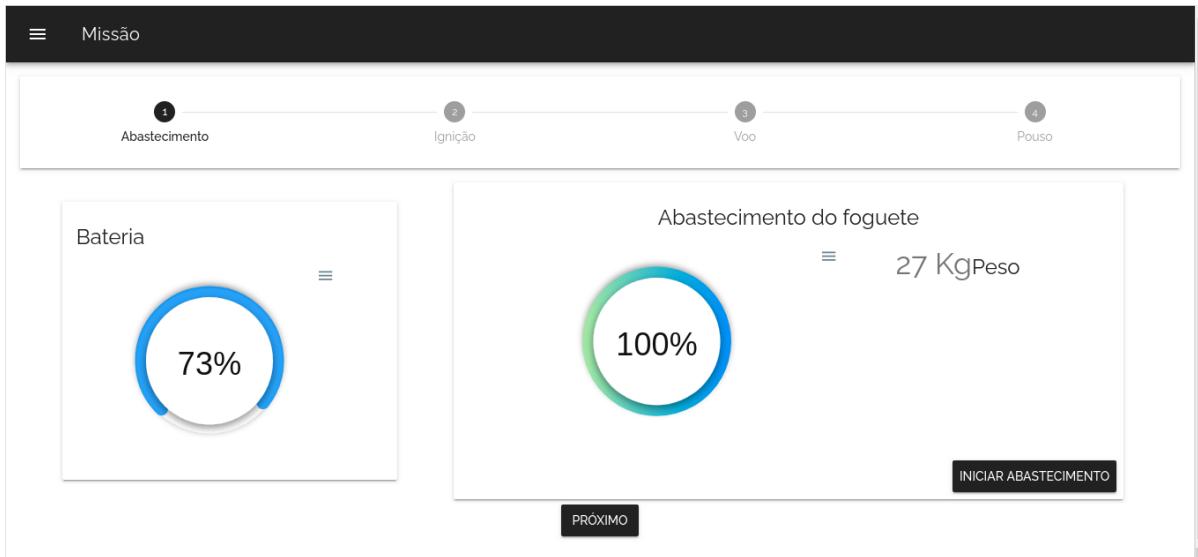


Figura 31 – Tela da fase de abastecimento após o processo concluído.

3.10 Construção Backend

3.10.1 API

A API foi utilizada para desenvolver todos os serviços de consulta e alteração do banco de dados. No Apêndice B está documentado todos os *endpoints* da API e seus

respectivos métodos http.

3.10.2 Serviço de Simulação

Devido a impossibilidade de conectar o software desenvolvido com os componentes de hardware, foi necessário criar um serviço para simular essa comunicação e permitir a verificação e a validação da solução do software, fazendo escritas e leituras em um *Filesystem*.

O *Filesystem* é um arquivo compartilhado para troca de dados. O código de comunicação serial faz a abertura de uma porta de comunicação e lê os dados nesse arquivo delimitando cada dado por uma vírgula. Os dados recebidos estão dispostos em uma String de 43 caracteres:

- Latitude, 10 caracteres - “Sinal,Centena,Dezena,Unidade,ponto,PrimeiraDecimal, SegundaDecimal,TerceiraDecimal,QuartaDecimal,QuintaDecimal”
- Longitude, 10 caracteres - “Sinal,Centena,Dezena,Unidade,ponto,PrimeiraDecimal, SegundaDecimal,TerceiraDecimal,QuartaDecimal,QuintaDecimal”
- Temperatura, 6 caracteres - “Sinal,Dezena,Unidade,ponto, PrimeiraDecimal, SegundaDecimal”
- Pressão, 9 caracteres - “CentenaMilhar,DezenaMilhar,UnidadeMilhar,Centena,Dezena, Unidade,ponto,PrimeiraDecimal,SegundaDecimal”
- Altitude, 8 caracteres - “Sinal,UnidadeMilhar,Centena,Dezena,Unidade,ponto, PrimeiraDecimal,SegundaDecimal”

Essa string está contida num arquivo com extensão .txt ou .csv e o software possui o código necessário para manipular esses tipos de arquivo.

Para simular esse processo foram desenvolvidos algoritmos em *JavaScript* utilizados em rotinas de leitura e escrita de dados e também de emissão dos dados ao *client-side*.

3.10.3 Infraestrutura

A arquitetura computacional da placa Jetson Nano foi desenvolvida em cima da arquitetura computacional Arm-64, e é diferente da arquitetura computacional dos computadores de uso pessoal, que é desenvolvida em cima da arquitetura x86. Por isso, foi necessário o uso de um emulador da arquitetura computacional Arm-64, o QEMU. O processo de desenvolvimento utilizando o QEMU conta com os seguintes passos:

- Instalação do QEMU

- Configuração do Docker para utilizar o ambiente de emulação do QEMU
- Criação do Dockerfile
- Construção da imagem Docker
- *Upload* da imagem Docker no DockerHub (docker push)

Para a utilização da imagem Docker na placa, o processo é bem simples:

- Download da imagem Docker na placa (docker pull)
- Execução da imagem (docker run)

A Figura 32 mostra graficamente o passo a passo para o deploy da imagem do projeto para a Jetson

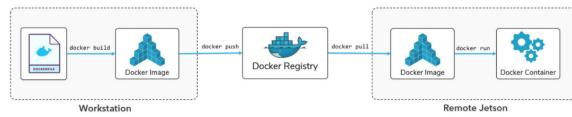


Figura 32 – Deploy de uma imagem docker na Jetson ([LABS, 2020](#))

Mais informações sobre esse processo podem ser verificados no link a seguir: [Arm container on x86](#).

4 Eletrônica

A solução de eletrônica do projeto consiste em garantir todo o funcionamento eletrônico do projeto, que foi dividido em três subáreas: telemetria, sensoriamento e controle do abastecimento/ignição do foguete.

Como o principal objetivo do projeto é construir um sistema de controle e monitoramento do foguete que permita ser feito a uma distância segura. Para isso, foi pensada uma solução envolvendo telemetria tanto para colher os dados quanto para enviar sinais de comando. Para melhor detalhamento da solução, foi construído um [Diagrama Geral](#) para melhor detalhamento do projeto na parte de *hardware*, a figura 114 no apêndice G resume bem a solução proposta.

4.1 Telemetria

É um processo remoto de aquisição ou envio de dados, ou seja, é utilizado para medir, rastrear ou até mesmo controlar à distância alguma coisa. Esse processo é feito geralmente por um sistema de comunicação sem fio, como por exemplo por radiofrequência ou via satélite. ([CAPELARI, 2012](#)).

Atualmente, a telemetria está presente em diversos ramos da vida cotidiana do ser humano: na apuração das informações de um automóvel, no controle meteorológico, na agricultura e em outras diversas atividades. Para o projeto proposto, entende-se que o uso da telemetria em tempo real é extremamente vantajoso para a aquisição de dados durante o voo do foguete e para o controle autônomo do seu abastecimento/ignição.

Como requisito de segurança, é necessário fazer o controle do foguete à distância. O recomendado pelas regras da LASC, competição a qual o cliente pretende participar, é uma distância mínima de 500m (lembando que o foguete pode atingir uma altura de voo de aproximadamente 1km). Ou seja, fazer a aquisição de dados e o controle de abastecimento e ignição via cabo seria muito dispendioso, ou mesmo inviável, sujeito a maiores riscos de falhas, ou ficando na dependência de coletar os dados armazenados na memória do foguete somente após sua recuperação. Por essas razões, entende-se que é necessário realizar a telemetria em tempo real. Para melhor entendimento, na figura 33 encontra-se o esquemático de um lançamento de foguete.

Como trata-se de uma função específica, o controle à distância e a aquisição de dados do pré-lançamento, do lançamento, do apogeu até a chegada do foguete no chão, é necessário compreender o problema e levantar requisitos para escolher a melhor forma de fazer a telemetria do projeto.

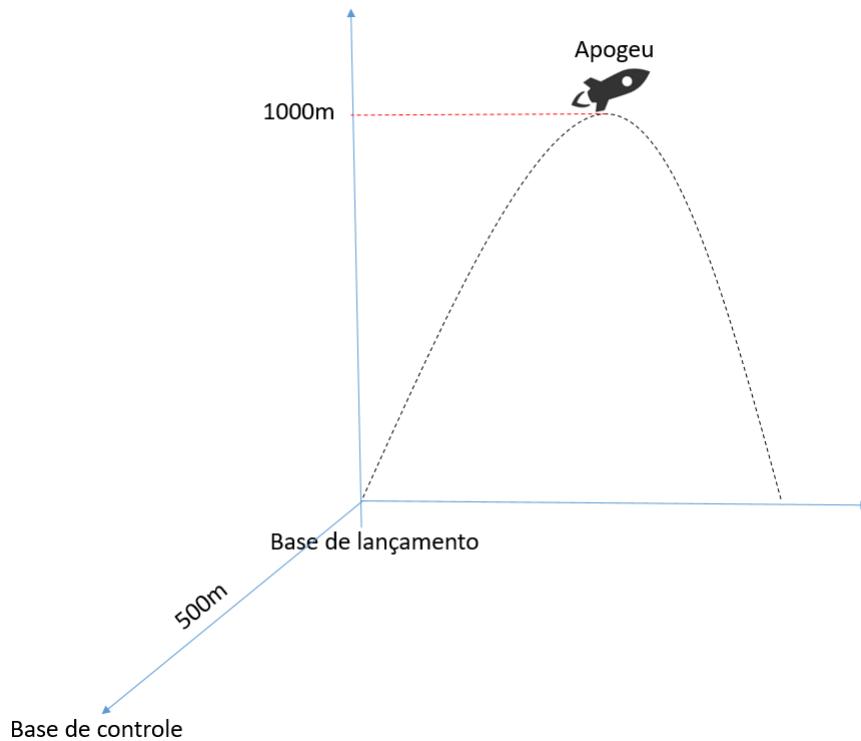


Figura 33 – Diagrama do Lançamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram analisadas diversas formas de fazer a telemetria, entre elas estão: a telemetria feita por radiofrequência, Lora, Wi-Fi, ZigBee, GPRS, Bluetooth, entre outras, analisando os seguintes requisitos:

- Alcance;
- Taxa de Transição de dados;
- Protocolo de Comunicação;
- Frequência dos Protocolos;
- Potência de Transmissão;
- Interface de Dados;
- Consumo.

Por fim, analisando diversos componentes, foi definido que a Placa Lora Esp32 da HELTEC, figura 34, atende os requisitos do projeto citados acima, garantindo assim o funcionamento de qualidade do projeto, sendo que o principal motivo foi a distância alcançada pelo transmissor e a baixa perda de potência em sua transmissão.

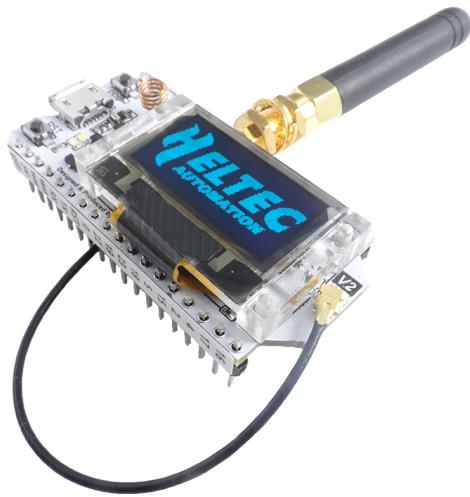


Figura 34 – Placa Lora Esp32 da HELTEC.

Fonte: ([SYSTEMS, 2020](#))

Contudo, como forma de garantir a integridade dos dados do lançamento, os mesmos também serão gravados num MicroSD dentro do foguete, evitando assim, a perda de dados por uma eventual falha na telemetria.

4.1.1 Lora

A comunicação feita via Lora (Long Range) é um método de comunicação à distância sem fio, utilizando radiofrequência, pode ser considerado um marco para o IOT - internet das coisas, possibilitando a realização de diversos projetos com sua utilização.

A técnica de modulação utilizado pela LoRa é baseada na modulação *Chirp Spread Spectrum* (CSS), que é bastante semelhante à modulação FSK (*Frequency-shift keying*), onde a frequência varia linearmente ao longo do tempo. Contudo, o LoRa tem um ganho de potência maior em relação a modulação FSK, possibilitando assim maior alcance dos sinais.

A tecnologia LoRa possui uma estrutura de pacote de dados que pode variar entre 2 até 255 bytes, dependendo das configurações a serem utilizadas, além de ser possível alcançar uma taxa de transmissão de até 50 Kbps. Para isso, é necessário utilizar artifícios e técnicas de canais ([BARREIROS, 2019](#)). A LoRa pode ser utilizada em diversas bandas ISM (Industrial Sientific and Medical), que regula as frequências para livre desenvolvimento industrial, sendo que cada país tem seu órgão responsável para distinguir qual faixa pode ser utilizada, no Brasil se trata da ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. Segundo a Resolução nº 726, de 05 de maio de 2020, que regulamenta as faixas livres de frequência no Brasil([ANATEL, 2020](#)), a LoRa enquadra-se na faixa de frequência livre no Brasil, que varia de 902 a 928 MHz, entre outras, portanto o trans-

missor LoRa opera em 915MHz no continente americano se enquadrando na resolução supracitada, figura 35.

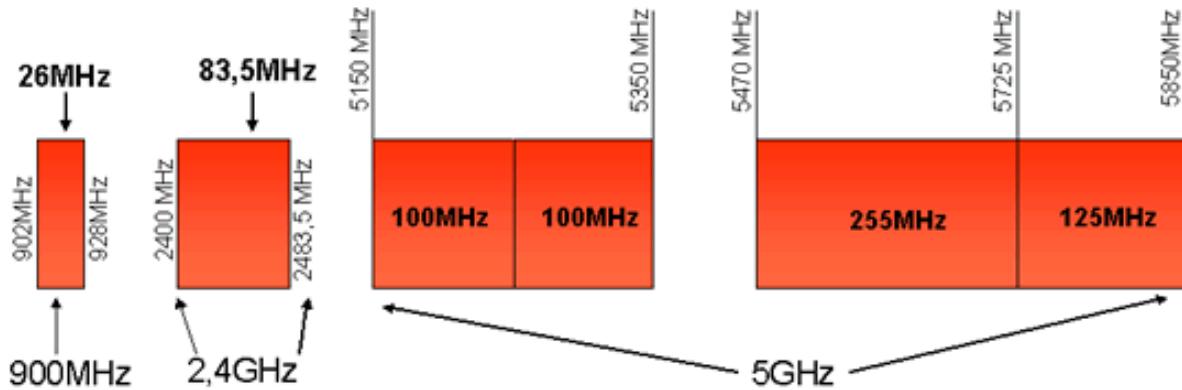


Figura 35 – Faixa de Frequênci a ISM no Brasil.

Fonte:([TELECO, 2020](#))

A modulação LoRa codifica a mensagem em pulsos de *chirps*, sendo que possui alguns parâmetros importantes para o melhor entendimento do funcionamento do mesmo: a largura de banda, a frequência da portadora e a taxa de código([ORTIZ THALES T. ALMEIDA, 2019](#)).

A frequência da portadora é definida como a frequência central da informação, que é especificada pela região utilizada pelo equipamento (como citado anteriormente, a frequência é de 915MHz para o continente americano).

A largura de banda (*Bandwidth - BW*) define o tamanho da faixa de frequência que a mensagem vai ser transmitida, ou seja a quantidade de informação que irá caber na mensagem. No protocolo de comunicação LoRa, há 3 configurações possíveis programáveis: 125KHz, 250KHz e 500Khz. Já o fator de espalhamento (*Spreading Factor - SF*) determina a variação da duração do pulso *chirps*, figura 36, sendo um parâmetro da modulação LoRa que tem como objetivo reduzir perdas na transmissão, porem há uma perda na taxa de transmissão. O SF pode variar de 7 até 12, ou seja, quanto maior o SF, maior será o tempo da mensagem no ar e, consequentemente, menor o tamanho da mensagem enviada. Na figura 37, pode-se notar a representação dessa variante.

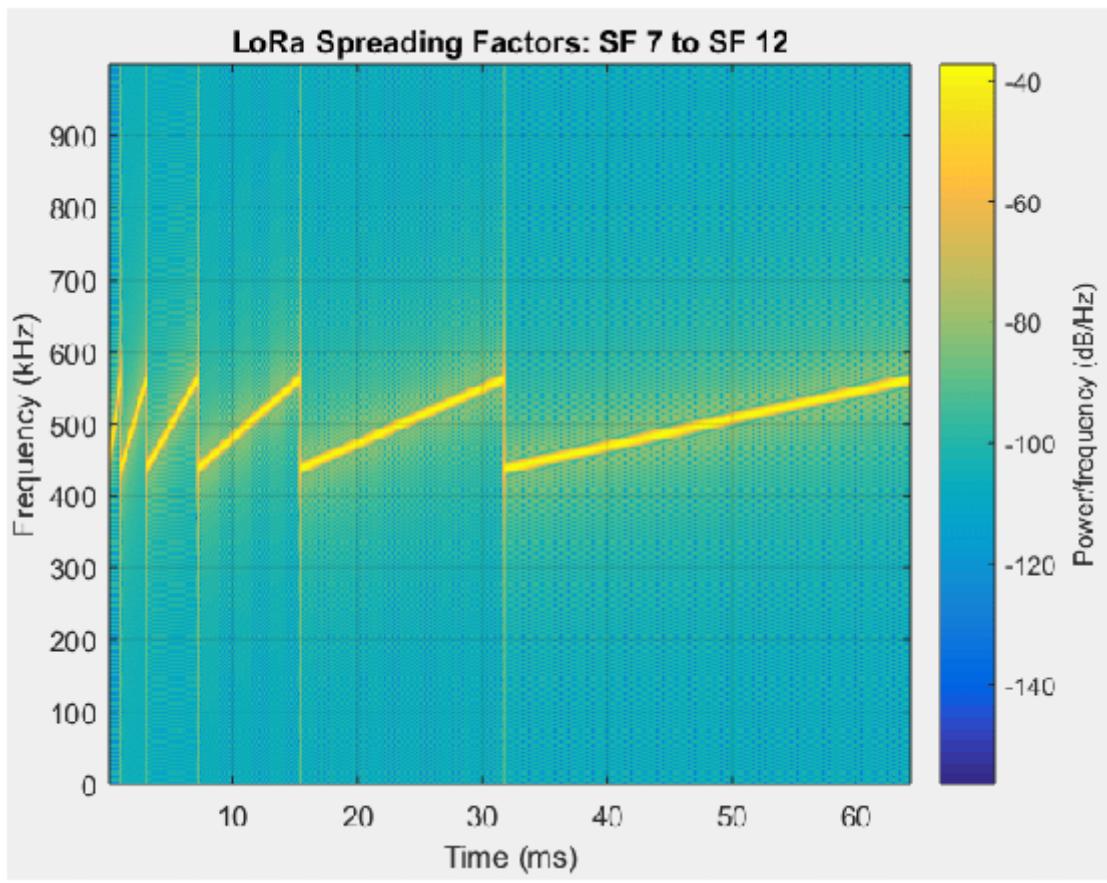


Figura 36 – Diferentes símbolos para SF diferentes em LoRa.

Fonte:(ZHO, 2019)

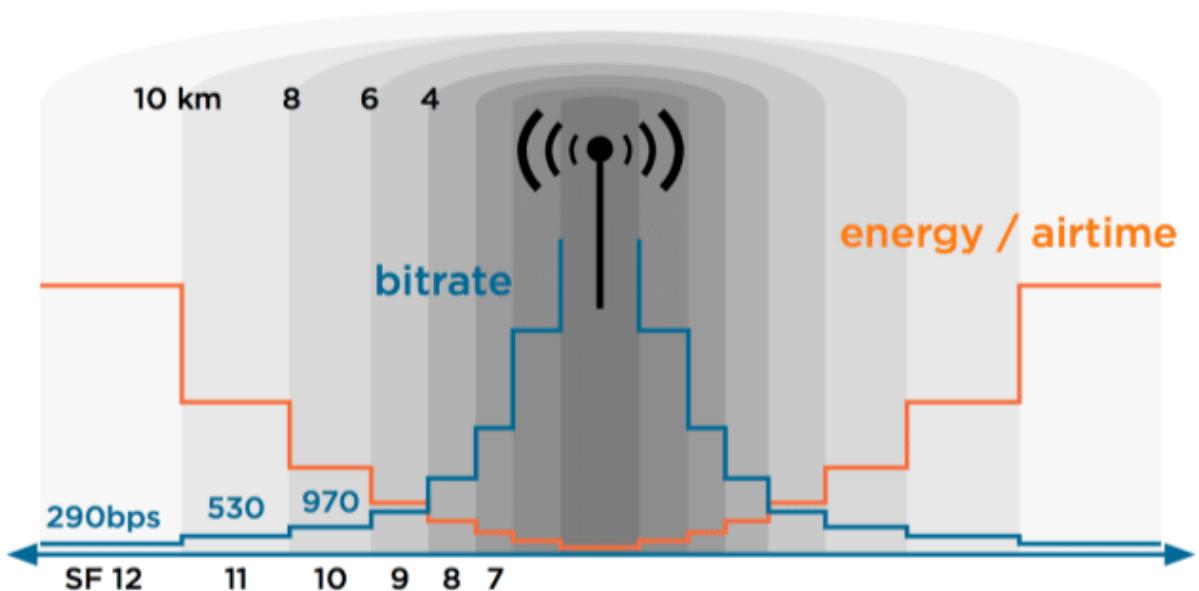


Figura 37 – Diferentes distancias para SF diferentes em LoRa.

Fonte:(SHUDA A.J. RIX, 2017)

A taxa de código (*Code Rate - CR*), é o modelo utilizado pela modulação LoRa para correção de erros na transmissão, é baseado em uma técnica correção posterior de erro, (*Forward Error Corrector - FEC*). Portanto, o CR define a quantidade de bits de redundância serão utilizados na correção dos erros, recuperando a mensagem, por sua vez, é dado pela equação 4.1 (RIBEIRO, 2019a).

$$CR = \frac{4}{4+n}, \text{ com } n \in \{1, 2, 3, 4\} \quad (4.1)$$

Por exemplo, usando $n=1$, temos um $CR = \frac{4}{5}$, ou seja, $\frac{1}{5}$ do pacote será composto por bits de redundância e os outros $\frac{4}{5}$ serão compostos pela mensagem propriamente dita.

A taxa de bits (*Bit Rate - Rb*) é a quantidade de bits que podem ser transmitidos por segundo em um determinado meio. Na modulação LoRa pode ser calculada pela equação 4.2. Na figura 38, pode-se observar a variação da taxa de transmissão LoRa variando os parâmetros SF e a BW.

$$Rb = SF \times \frac{BW \times CR}{2^{SF}}, \text{ com } SF \in \{7, 8, 9, 10, 11, 12\} \quad (4.2)$$

Onde:

- Rb = Taxa de bits/s,
- BW = Largura de banda(Hz),
- SF = Fator de espalhamento,
- CR = Taxa de código.

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	3418	1953	1098	610	336	183
	250	6836	3906	2197	1220	671	366
	500	13672	7813	4395	2441	1343	732

Coding Rate 4/8

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	3906	2232	1256	698	384	209
	250	7813	4464	2511	1395	767	419
	500	15625	8929	5022	2790	1535	837

Coding Rate 4/7

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	4557	2604	1465	814	448	244
	250	9115	5208	2930	1628	895	488
	500	18229	10417	5859	3255	1790	977

Coding Rate 4/6

Taxa de dados (bps)		Spreading Factor					
		7	8	9	10	11	12
Largura de Banda (kHz)	125	5469	3125	1758	977	537	293
	250	10938	6250	3516	1953	1074	586
	500	21875	12500	7031	3906	2148	1172

Coding Rate 4/5

Figura 38 – Diferentes taxa para SF e BW diferentes em LoRa.

Fonte:(RADIOENGE, 2018)

Para configurações dos módulos SX1276 LoRa nas ESP 32 que compreende o trabalho em questão, foi feito levantamento dos dados a serem transmitidos e seu formato. A "Semtech" padronizou um formato específico da mensagem para facilitar a conexões entre os transmissores e receptores sendo composta por (identificação + *payload*), ou seja a identificação é o preâmbulo que é responsável pela sincronização entre o transmissor e receptor e o cabeçalho que é opcional que leva a informação do tamanho da mensagem e o *payload* que é propriamente dito a mensagem mais os bits de redundância(RIBEIRO, 2019b).

Ficou definido uma ordem fixa de agrupamento dos dados, assim, montando um pacote, além do mais que os dados seriam salvos no formato em que os valores fossem separados por vírgulas (*Comma Separated Values - .CSV*) que permite sua utilização de maneira mais prática tanto para seu armazenamento em banco de dados quanto para a criação de gráficos pertinente aos dados enviados.

Obtendo o tamanho de cada pacote, foi analisado qual seria o pior caso para a transmissão, que no caso é o pacote de transmissão dos sensores de dentro do foguete para a RGS, este possui a string:

“InMSG,LATITUDE,LONGITUDE,TEMPERATURA,PRESSÃO,ALTITUDE,VELOCIDADE,Fimmsg”.

A maior *string* é constituída de 50 caracteres mais 6 vírgulas para separação dos dados, totalizando 56 caracteres, e sendo o maior pacote de dados que necessitará ser enviado. Dado que cada caractere possui 8 bits de acordo com o padrão da norma ISO/IEC 8859-16:2001, pode-se calcular o número de bits da maior *string* a ser transmitida que contém aproximadamente 450 bits.

O cálculo das para da taxa de transmissão é representado pela equação 4.2, entretanto *Semtech* disponibiliza uma calculadora para levantamento dos dados da transmissão e recepção como apresentado nas figuras 39, 40 em que foi definido os seguintes parâmetros dados as especificações do projeto, SF=8, BW=125 KHz, CR= $\frac{4}{5}$, ou seja, um *payload* de 68 bytes é necessário por estar-se usando o CR supracitado que acresce em $\frac{1}{5}$ o numero total de bits, sendo estes de redundância. Assim dado a frequência da portadora de 915 MHz e potência de transmissão de 20 dBm obten-se uma taxa de transmissão de aproximadamente de 2000 bps suprindo com uma margem considerável a demanda do projeto.

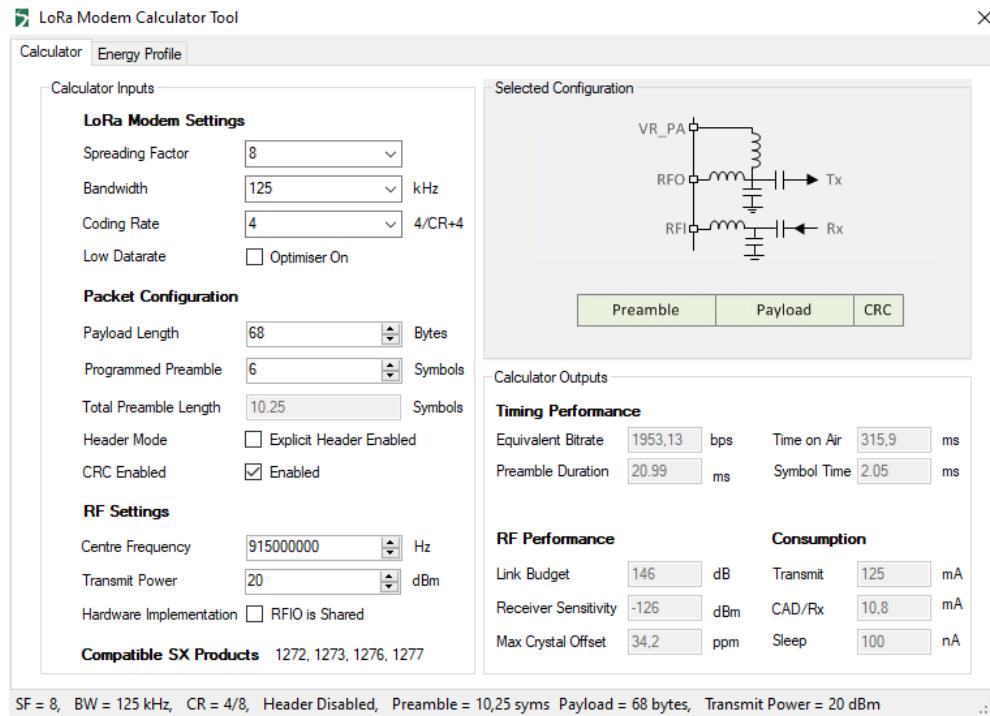


Figura 39 – Cálculo transmissão LoRa pela Sentech.

Fonte: Semtech - LoRa Modem calculator Tool

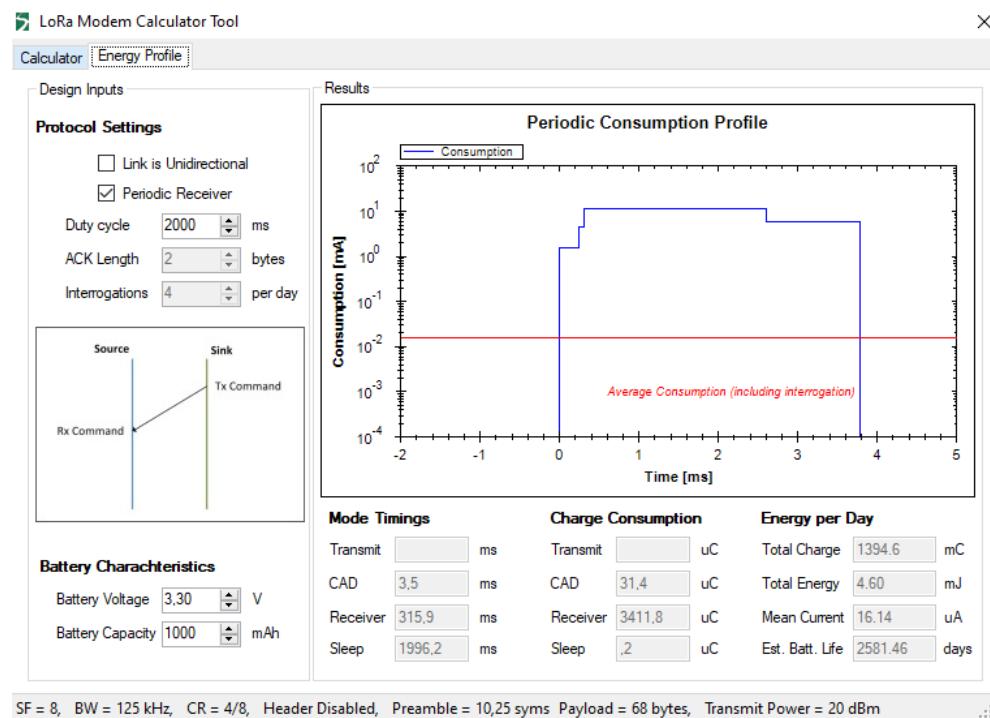


Figura 40 – Cálculo transmissão LoRa pela Sentech.

Fonte: Semtech - LoRa Modem calculator Tool

4.2 Sensoriamento

Sensores são dispositivos que possuem a função de detectar e responder com eficiência algum estímulo. Existem vários tipos de sensores que respondem a estímulos diferentes, como por exemplo: calor, pressão, movimento, luz e outros. Depois que o sensor recebe o estímulo, a sua função é emitir um sinal que seja capaz de ser convertido e interpretado pelos outros dispositivos (MATTEDE, 2020).

Definidos os requisitos do projeto, sabe-se que será necessário o uso de sensores e transdutores para auxiliar a obter dados como pressão, temperatura, altitude, velocidade e localização geográfica (GPS) do foguete, e também do peso do foguete durante o abastecimento na sua base de lançamento. Para tal, serão utilizados apenas 3 sensores para ajudar na busca dessas variáveis.

4.2.1 Altitude e Velocidade

Para medição da pressão e da temperatura externa ao foguete durante o lançamento, foi escolhido o sensor de pressão e temperatura BMP280, visto na figura 41 (SENSORTEC, 2018).

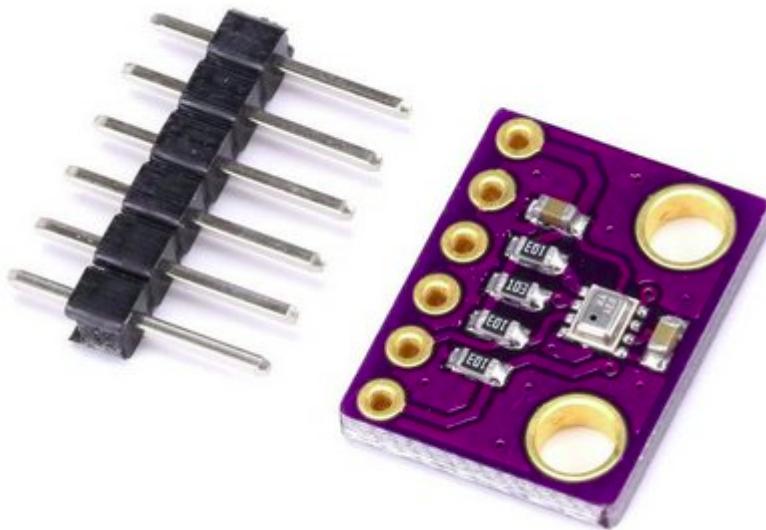


Figura 41 – Sensor de pressão e temperatura BMP280 (Bosch).

Fonte:(ARDUINOMEGA,)

Esse sensor mostrou-se o mais viável, pois, implementando-o com uso de determinadas bibliotecas, além dos dados de pressão (hPa) e temperatura (Graus Celsius), é possível, por meio da implementação de funções contidas em bibliotecas específicas, obter o cálculo da altitude (metros). Tais bibliotecas e suas equações são esclarecidas adiante.

O sensor BMP280 realiza medições de pressão com precisão de ± 1 hPa e temperatura com precisão de $\pm 1^{\circ}C$. Com essa precisão, é possível realizar medições de altitude com margem de erro de ± 1 metro, efetuando a leitura entre 300 e 1100 hPa, o que corresponde à faixa de altitude de +9000 à -500 m ([CIA, 2017](#)).

Em relação aos sensores existentes no mercado, o BMP280 foi o que melhor atendeu aos requisitos, pois ele é a versão mais atual e precisa dos modelos BMP180 e BM085. Também é de baixo consumo em relação aos sensores Mpx10dp e Mpx5700, possuindo melhor aplicabilidade.

Para a implementação do sensor, é necessário o uso de duas bibliotecas da Adafruit para o sensor BMP280 ([ADAFRUIT](#),): a `Adafruit_Sensor.h` e a `Adafruit_BMP280.h`. Em ambientes que a Adafruit não pode ser implementada, a Bosh, fabricante do sensor, disponibiliza um código em C para a sua implementação (em [BME280_driver](#)).

A biblioteca `Adafruit_BMP280.h` citada anteriormente é a biblioteca que disponibiliza as funções, em código C, que retornam as medidas de pressão e temperatura, e também a função que já realiza o cálculo da altitude, tais funções são:

- float `readPressure()` -> Leitura da Pressao atmosférica
- float `readTemperature()` -> Leitura da Temperatura
- float `readAltitude` -> Leitura da Altitude (em metros, considerando nível do mar)

Os dados retornados por cada uma dessas funções são do tipo *float*, portanto cada medida tem o dado do tamanho de 4 bytes.

A função `readAltitude()` retorna o valor da altitude por meio da equação hipsométrica, vide equação 4.3. A equação hipsométrica estabelece que a distância vertical entre duas pressões na atmosfera é proporcional à temperatura média entre esses dois níveis de pressão ([NIELSEN-GAMMON](#),).

$$h = z_2 - z_1 = \frac{R_d \bar{T}_\nu}{g} \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right) \quad (4.3)$$

Onde:

- h é a variação da altitude, em que z_1 e z_2 são alturas geométricas nos níveis de pressão p_1 e p_2 ;
- R_d é a constante de gás para ar seco, $8,3144 \frac{N*m}{mol*K}$;
- \bar{T}_ν a temperatura virtual média da camada;

- g é a aceleração gravitacional, $9.807 \frac{m}{s^2}$.

A equação hipsométrica é derivada da equação hidrostática e da lei dos gases ideais. Com essa fórmula a função calcula a altura h com, p_1 sendo a pressão atmosférica medida pelo sensor BMP280 e p_2 a pressão inicial da altura inicial, podendo ser a pressão a nível do mar (101,35 kPa) ou a do local.

Sabendo a altitude do foguete e obtendo a sua variação ao longo do tempo, este podendo ser medido pelo *clock* próprio do microcontrolador, considerando o tempo de recebimento de cada medida de altitude, é possível medir a velocidade do foguete em cada instante, por meio do cálculo da velocidade média, equação 4.4.

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta T} = \frac{h_f - h_i}{t_f - t_i} \quad (4.4)$$

Onde:

- V é a velocidade média do foguete durante o voo, em m/s;
- ΔS é a variação de altitude do foguete durante o voo, em metros;
- ΔT é a variação de tempo de subida do foguete durante o voo, em segundos;
- h_f é a última medida coletada da altura do foguete;
- h_i é a penúltima medida coletada da altura do foguete, esta inicia na altura $h = 0$ metros;
- t_f é a medida do tempo em que foi coletado h_f ;
- t_i é a medida do tempo em que foi coletado h_i , está inicia em 0 segundos.

Ao contrário do cálculo da altitude, que é obtida por hardware dentro de rotinas implementadas em código C no microcontrolador, o processamento e cálculo da velocidade média do foguete, será realizado por software. A função do microcontrolador, nesse caso, será de enviar os dados de altitude para tal procedimento.

Usando a comunicação I2C, a conexão das pinagens entre o sensor e o microcontrolador foi definida com o SDA e SCL do BMP280 conectados aos pinos D21 e D22 da ESP32 LoRa, respectivamente. Para comunicação, foram conectados o VDD e GND do BMP280 com os pinos 3V3 e GND da ESP32 LoRa respectivamente, conforme mostrado na figura 42.

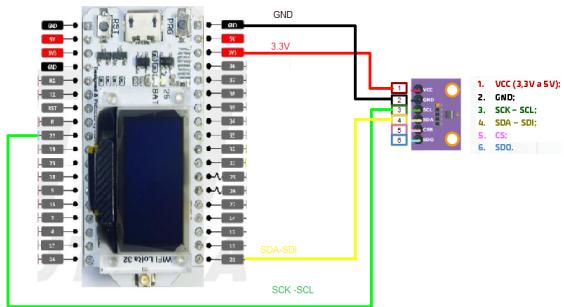


Figura 42 – Conexões entre sensor BMP280 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C.

Fonte : Autor

4.2.2 Localização Geográfica (GPS)

A sigla GPS significa Global Positioning System, o que em português quer dizer Sistema de Posicionamento Global. É uma tecnologia que utiliza satélites e dispositivos para fornecer informações sobre a localização no globo terrestre ([INFORMAçãO, 2020](#)).

A localização GPS será utilizada para obter a posição geográfica do foguete após sua aterrissagem, podendo também fornecer as coordenadas ao longo do lançamento para determinar a trajetória percorrida pelo foguete.

Foi definido para tal função o GY-NEO6MV2, figura 43, um módulo GPS composto por duas partes, a antena, responsável por captar as informações provindas dos satélites e o sistema de controle, responsável pelo processamento dos dados obtidos, por meio do microcontrolador interno NEO6 ([UBLOX](#),).



Figura 43 – Módulo GPS GY-NEO6MV2 (uBlox).

Fonte: ([ROBOCORE, 2020](#))

O módulo GPS GY-NEO6MV2 foi escolhido por ser de fácil utilização, realizando a comunicação por meio de comunicação serial, usando apenas 2 pinos (TX e RX), o que

permite a comunicação com os mais diversos tipos de equipamentos e microcontroladores. Esse componente apresenta um consumo de corrente em média de 45 mA, enquanto o módulo similar, VK2828U7G5LF, consome em média 50 mA.

Para a aplicação com o módulo é necessário o uso de duas bibliotecas essenciais. A primeira é para a realizar a comunicação serial do microcontrolador com o módulo GPS, onde pode ser usada tanto a biblioteca `SoftwareSerial.h` para usar a IDE do arduino, quanto a biblioteca `EspSoftwareSerial.h` como exclusivo da ESP32. A segunda (`TinyGPS.h`) contém todas as funções e comandos necessários para se comunicar com o módulo e acessar suas ferramentas.

Para GPS GY-NEO6MV2, com a vantagem da sua comunicação ser serial, a sua pinagem com a WiFi Lora ESP32 é bastante simples. Portanto, foi definida a conexão dos pinos de VCC e GND do módulo com os pinos 3V3 e GND da ESP32, para alimentação, e conectamos o TX e RX do módulo com os pinos de RX e TX da ESP32 LoRa, usando o protocolo UART de comunicação. A figura 44 mostra as conexões entre os componentes.

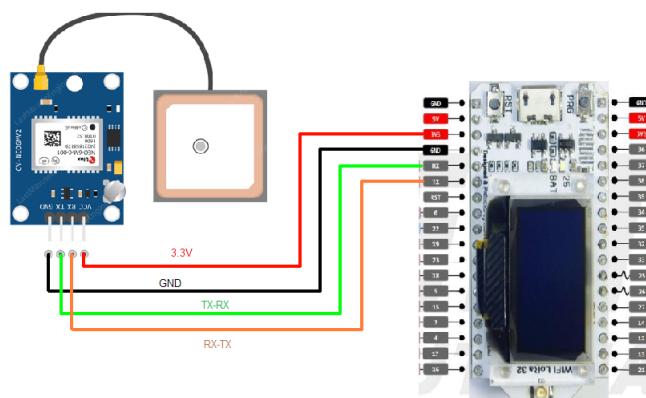


Figura 44 – Conexões entre o GPS GY-NEO6MV2 e ESP32 LoRa - Protocolo UART.

Fonte : Autor

4.2.3 Peso do foguete

Por meio do acompanhamento do peso do antes, durante e depois do abastecimento do foguete, será possível controlar e medir a quantidade de combustível contido em seu tanque. Para mensurar o peso do foguete, serão utilizadas duas células de carga.

Uma célula de carga é um transdutor de força que converte a carga que atua sobre ele em uma saída elétrica mensurável. Embora existam vários tipos, as células de carga baseadas em sensores de deformação e tensão são as mais usadas (ENGINEERING, 2020).

Neste projeto, foi escolhida célula de carga de 50 kg, figura 45, que atende o peso máximo do foguete, de 18.5 kg com o tanque de combustível cheio e 14.3 kg vazio (dados fornecidos pela CRT).



Figura 45 – Célula de carga - 50 kg.

Fonte: ([ELETROGATE, 2020](#))

Este sensor é um *Strain Gauge*, ou extensômetro, um sensor que é colocado na superfície de uma peça, responsável por medir a deformação diante da aplicação de um carregamento, onde no sensor há um fio resistivo, que altera sua resistência de acordo com o “alongamento” da superfície em que está colocado, gerando assim sinais elétricos que são interpretados por uma placa de aquisição, convertendo os valores em deformação ([GUILHERME, 2016](#)).

Uma ponte Wheatstone é um esquema de montagem de elementos elétricos que permite a medição do valor de uma resistência elétrica desconhecida, vide Figura 46. Neste esquema elétrico são ligados quatro resistores, em dois diferentes ramos de um circuito, a uma bateria. Em seguida, esses ramos são conectados por um fio, que os leva a um galvanômetro. O galvanômetro serve como um indicador de corrente elétrica, assim, a resistência do resistor variável é alterada até que o galvanômetro acuse a passagem de corrente nula. Quando a corrente que passa pelo galvanômetro é nula, não há diferença de potencial entre os ramos do circuito. Nessa situação, dizemos que a ponte de Wheatstone encontra-se em equilíbrio.

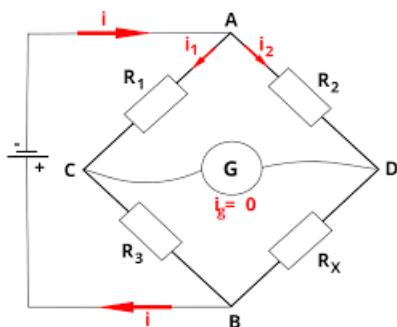


Figura 46 – Circuito padrão de uma Ponte de Wheatstone.

Fonte: ([HELERBROCK, \)](#)

Onde i_g é a corrente no galvanômetro, R_X é a resistência desconhecida e R_1 , R_3 , R_4 são resistências conhecidas. Na situação de equilíbrio, $i_g = 0$, o circuito mostrado na figura anterior pode ser usado para determinar com grande precisão a resistência elétrica do elemento resistivo RX.

A célula de carga utilizada, é um sensor de meia-ponte da *Wheatstone*, ou seja, utiliza uma meia-ponte de *Wheatstone* com uma resistência de referência e um elemento sensor cuja resistência varia conforme a pressão aplicada, vide Figura 47. Utilizando-se apenas uma célula de carga seriam necessários mais resistores para completar a ponte. Além disso, projetos com apenas uma célula de carga tendem a ter dificuldades para ajustes de calibração da célula.

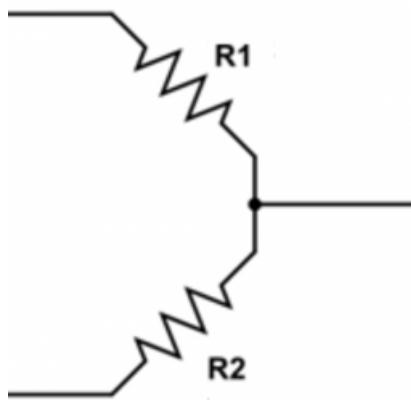


Figura 47 – Circuito Meia-Ponte de Wheatstone da Célula de Carga utilizada.

Fonte: ([VIDAL, 2017](#))

Portanto, considerando também que, além do foguete acima da balança, haverá toda uma estrutura para comportar a base do foguete, serão usadas duas células de cargas para fazer a balança, o que é o mais indicado: uma para medir compressão e outra para medir tensão (forças aplicadas em direções diferentes). Com duas células de carga, tem-se uma ponte de *Wheatstone* completa.

Como o sinal enviado pelo transdutor é elétrico, precisa-se de um módulo conversor, que fará a conversão do sinal elétrico em sinal digital para possibilitar a leitura dos dados pelo microcontrolador. Para isso, será usado o módulo conversor A/D HX711, figura 48, um módulo amplificador e conversor A/D de 24 bits, utilizado para amplificar o sinal de dispositivos como células de carga, fazendo a interligação entre essas células e o microcontrolador, por meio da comunicação SPI ([SEMICONDUCTOR](#),).

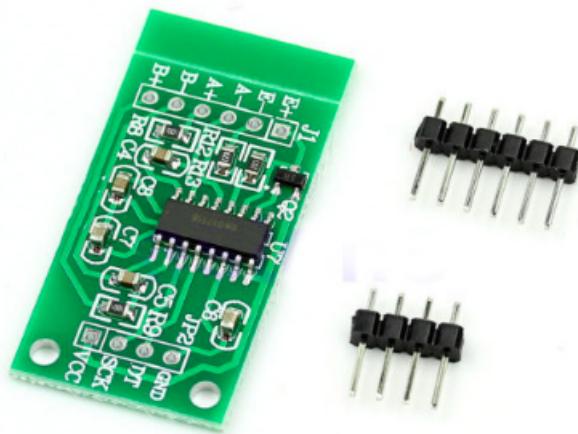


Figura 48 – HX711 - Módulo amplificador e conversor A/D de 24 bits.

Fonte: ([FILIPEFLOP](#),)

O módulo HX711 foi projetado para pesar escalas e aplicações de controle industrial para interface diretamente com um sensor de ponte. O multiplexador de entrada seleciona o Canal A ou entrada diferencial B para o baixo ruído amplificador de ganho programável (PGA). O Canal A pode ser programado com um ganho de 128 ou 64, correspondendo a uma entrada diferencial em escala real tensão de $\pm 20\text{mV}$ ou $\pm 40\text{mV}$, respectivamente, quando uma fonte de 5 V é conectada à alimentação analógica do AVDD, pino de alimentação. O canal B tem um ganho fixo de 32. O regulador de alimentação Onchip elimina a necessidade para um regulador de alimentação externa fornecer energia para o ADC e o sensor. A entrada do *Clock* é flexível, pode ser de uma fonte de relógio externa, um cristal, ou um oscilador on-chip que não requer nenhum componente externo. Não há necessidade de programação para os registradores internos, todos os controles do HX711 são através dos pinos ([SEMICONDUCTOR](#),).

A Figura ??, mostra o diagrama de bloco de aplicação de uma balança típica com o HX711, dentro do bloco em azul, e a célula de carga, uma ponte de Wheatstone externa ao bloco. Em destacado em azul está o diagrama de bloco interno do módulo HX711.

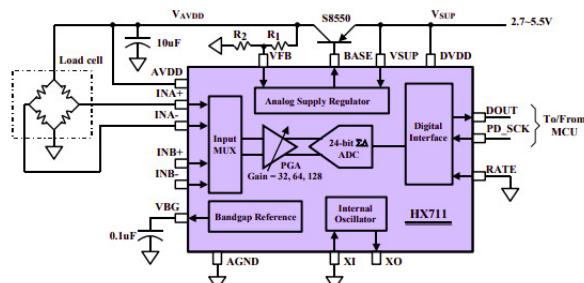


Figura 49 – Diagrama de blocos do módulo HX711 em aplicação típica de uma balança com uma célula de carga.

Fonte : ([SEMICONDUCTOR](#),)

Aplicando ao presente projeto, a conexão das duas células de carga, formando a ponte completa de Wheatstone, e o módulo HX711, fica conforme mostrado na Figura 50.

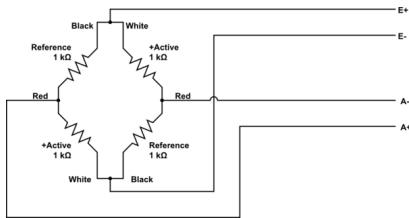


Figura 50 – Circuito com 2 células de carga com conexões para o módulo HX711.

Fonte : ([VIDAL, 2017](#))

Para implementar a balança, a comunicação é feita do microcontrolador com o módulo conversor A/D e amplificador HX711. Para tal, foi definido o protocolo de comunicação I2C, sendo necessário o uso da biblioteca [HX711.h](#). Nessa biblioteca, a função a ser utilizada, que retorna os dados do peso da balança é do tipo *long*, ou seja, uma dado de 4 bytes.

As conexões entre o conversor e microcontrolador foram definidas da seguinte forma: para alimentação, o VDD e GND do HX711 conectados nos pinos 5V e GND da ESP32 Lora, respectivamente, para comunicação I2C, o DT e SCK do HX711 conectados nos pinos D23 e D17 da ESP32 LoRa. A figura 51 mostra as pinagens realizadas.

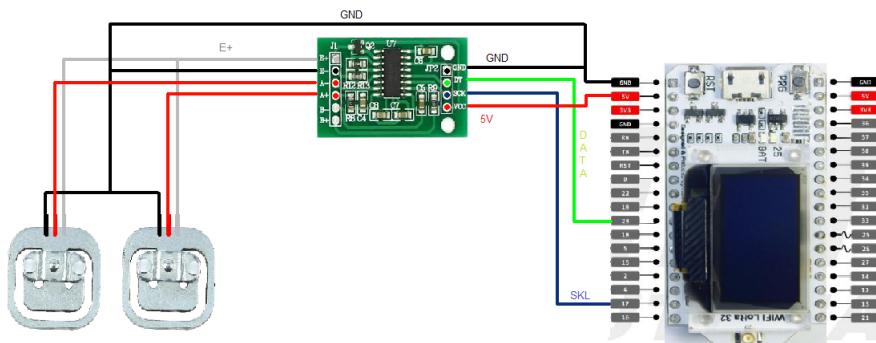


Figura 51 – Conexões entre Hx711 e ESP32 LoRa - Protocolo I2C.

Fonte : Autor

4.2.4 Especificações dos sensores

A tabela 1 apresenta os dados das principais especificações dos sensores citados acima.

Sensor	Tensão de Operação	Consumo de corrente	Comunicação	Taxa de transmissão	Formato dos Dados
BMP280	1.71 - 3.6V	3.6 uA @ 1 Hz (umidade, pressão e temperatura)	I2C e SPI	I2C (até 3.4 MHz e SPI (3 e 4 fios, até 10 MHz)	unsigned 20-bit (pressão e temperatura) unsigned 16-bit (umidade)
Célula de carga 50kg	5 -10V	Resistência de entrada e saída (Ω): 1000 ± 50	-	-	-
Módulo Hx711	4.8 - 5.5V	1.5mA	SPI	10 - 80 MHz	24 bits em complemento de 2
Módulo GPS GY-NEO6MV2	3 - 5V	10mA – 100 mA	Serial UART e SPI	9600 bps (UART baud rate) e 100 kbit/s	-

Tabela 1 – Especificações principais dos componentes do sensoriamento.

4.3 Central de controle

A central de controle será o ponto de acesso do usuário com os dados e comandos vindos da base de lançamento e do foguete. Um exemplo de estação pode ser visto na figura 52.



Figura 52 – Estação de controle de solo.

Fonte : [\(DGS, 2010\)](#)

A solução proposta para essa interface do usuário foi seguindo esse modelo de

maleta, que possui uma tela, um teclado.

4.3.1 Interface do usuário

A tela escolhida pode ser vista na figura 53. Essa tela possui um tamanho de 9 polegadas e uma resolução máxima de 1600x1200.



Figura 53 – Tela da interface do usuário.

Fonte : ([MERCADOLIVRE, 2020b](#))

Para a chegada dessa definição, pesquisas foram feitas e percebeu-se que geralmente telas menores, cinco e sete polegadas, possuem sensibilidade ao toque o que além de não agregar mais valor em nosso produto, dificultaria no dimensionamento da bateria dado a maior necessidade de potencia desse tipo de tela. Outro ponto levado em consideração é a questão da troca que existe entre o tamanho da tela e seu gasto energético. Precisava-se de uma tela grande o suficiente para a boa visualização dos dados, porém que fosse portátil e que consumisse pouca carga da bateria. Assim a escolha da tela com as características mencionadas anteriormente é justificada.

Para que o usuário interaja com essa tela, foi pensado em dois tipos de soluções. A primeira seria colocar todos os comandos em botões e chaves, e a segunda realizar os comandos por meio de um mini teclado. Optou-se pelo uso do teclado, devido a possibilidade de maior interatividade com a aplicação de *software* e facilidade para futuras atualizações no projeto.

O modelo de teclado portátil escolhido pode ser visto na figura 54. Esse teclado possui dimensões de 200x126x6,2 mm e um peso de 200g.



Figura 54 – Teclado da interface do usuário.

Fonte : ([MERCADOLIVRE, 2020a](#))

4.3.2 Single Board Computer

Para a melhor escolha da placa utilizada no projeto, foi montada a seguinte tabela, na figura 55. Essa tabela foi levada aos grupos de *software* e de energia para o debate entre capacidade de processamento e custo energético.

	Raspberry pi 4 	Raspberry pi zero W 	Asus Tinkerboard 	ODROID-C1+ 	ODROID-XU4 	Orange Pi PC2 	Raspberry pi 3B+ 
Processador	Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit 1.5GHz	1GHz single-core CPU	Quad-Core RK3288 processor	4 x ARM® Cortex®-A5 1.5GHz	2Ghz and Cortex™-A7 Octa core CPUs	Quad-core 64-bit Cortex-A53	Quad core Cortex-A53 64-bit 1.4GHz
Memória RAM	4GB DDR4	512MB LPDDR2	2GB DDR3	1GB DDR3	2GB LPDDR3	1GB DDR3	1GB DDR3
Tensão / Corrente	5V/3.0A	5V/1.2A	5V/3A	5V 2A	5V/4.0A	5V/2A	5V/2A
Dimensão (mm)	85 x 56 x 17	65 x 30 x 5	85 x 56 x 17	85 x 56 x 20	83 x 58 x 20	85 x 56	85 x 56 x 17
Wifi	802.11n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11b/g/n	802.11 ac/b/g/n	802.11b/g/n	802.11 b/g/n/AC
Bluetooth	Bluetooth 5.0 BLE	Low Energy (BLE) 4.1	Bluetooth V4.0 + EDR	Não possui	Não possui	Bluetooth V4.0 + EDR	4.2 BLE integrado
Preço	R\$ 499,00	R\$ 154,90	R\$550,00	R\$ 530,00	R\$ 420,00	R\$ 113,49	R\$ 400,00

Figura 55 – Tabela de comparação de *single board computers*. Fonte : Autor

Após algumas reuniões, ficou decidido que se usaria a raspberry pi 3B+ no projeto. Porém, conforme as *sprints* foram passando, percebemos juntamente com o grupo

de software que seria necessário mais capacidade de processamento para os algoritmos que seriam implementados. Um novo alinhamento geral foi feito e a escolha que melhor atenderia essa demanda de processamento seria o uso de uma Jetson Nano Developer Kit da Nvidia, mostrado na figura 56.



Figura 56 – Nvidea Jetson Nano Developer Kit.

Fonte : ([NVIDIA, 2020](#))

Apesar do detimento causado no dimensionamento da bateria, essa placa foi escolhida devido a sua maior capacidade de processamento de algoritmos mais pesados, assim suprindo a demanda encaminhada pela equipe de *software*.

Juntamente com a equipe de energia foi construído um diagrama de blocos das interligações dos componentes, o mesmo pode ser visto na figura 57. Visto as colaborações necessárias entre os dois grupos com relação ao dimensionamento da bateria, por parte da energia, e o consumo de potência de cada componente por parte da eletrônica.

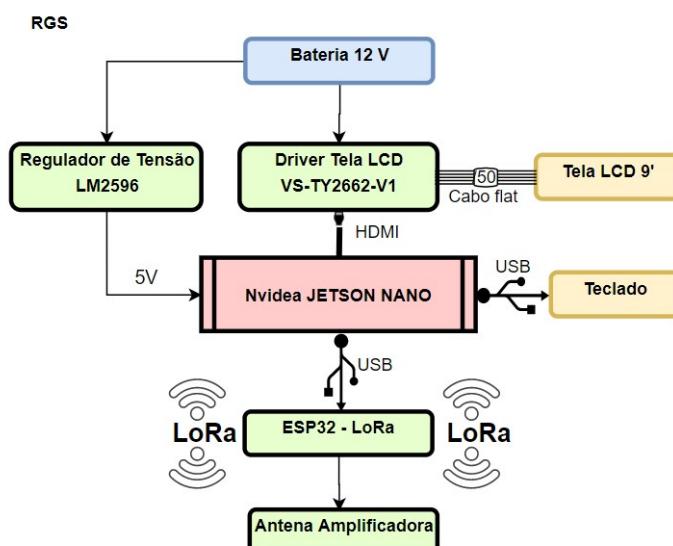


Figura 57 – Diagrama Central de Controle.

Fonte : Autor

4.4 Calibração

Calibração é operação que estabelece, sob condições especificadas, num primeiro passo, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; num segundo passo, utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção de um resultado de medição a partir de uma indicação. ([BIML-VIML, 2013](#)).

Dentre os sensores utilizados na base de lançamento e no foguete, apenas as células de cargas da balança são transdutores necessários de calibração, os demais sensores já possuem calibração de fábrica, onde geralmente seus coeficientes de calibragem ficam armazenados em ROM.

Para calibrar a balança, após a montagem com as duas células de carga 50 Kg e o módulo conversor HX711, será executado uma rotina de ajuste do sistema de medição em código C no microcontrolador ESP32 LoRa. De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia Legal (VIML) o ajuste de um sistema de medição é conjunto de operações efetuadas num sistema de medição, de modo que ele forneça indicações prescritas correspondentes a determinados valores de uma grandeza a ser medida.

Através do programa executado deve ser encontrado um valor aferido denominado como Fator de Ajuste para ser inserido no programa de medição da Balança com o conversor, e assim a calibração seja realizada.

O programa de ajuste fará uso da biblioteca [HX711.h](#), onde um objeto de peso conhecido deve ser lido pela balança, e a média dos valores retornados deve ser dividido pelo valor do peso real do objeto em KG, obtendo o fator de ajuste, que deve ser inserido como parâmetro da função “`scale.set_scale()`” importada da biblioteca mencionada. Com esse fator de ajuste setado, obtém-se a calibração da balança, medindo então o peso real do objeto ([VIDAL, 2017](#)).

A figura 58 apresenta o fluxograma do algoritmo de ajuste e calibração dos sensores da balança.

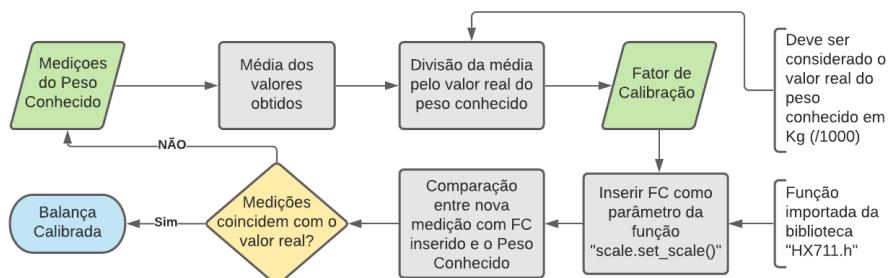


Figura 58 – Diagrama do algoritmo de calibração da balança

Fonte : Autor

Convém ressaltar que foi escolhido para os dados de peso medidos pela balança, uma precisão de 3 casas decimais. Esta precisão é definida como um parâmetro setado em uma função contida na biblioteca [HX711.h](#).

4.5 Interações

4.5.1 Diagrama de blocos do Abastecimento

Apos reuniões com a equipe de estrutura e com a CRT, foram levantados os requisitos para o abastecimento do foguete de forma mais específica. Foi criado um diagrama lógico para melhor entendimento do procedimento, figura [59](#), maiores detalhes estão apresentados no capítulo [7](#). Assim, foi possível a equipe estrutural definir quais motores se enquadram para cada válvula do sistema.

É necessário um conjunto de 3 motores para a parte externa do foguete, um para a válvula 1 responsável por abrir o cilindro do combustível, um para a válvula 2 que é responsável por despressurizar a mangueira após a conclusão do abastecimento, um para o desacoplamento do engate rápido e o ultimo para o acionamento da ignição, sendo que estes dois ultimos seriam acionados por um modulo de dois relés SRD-05VDC-SL-C, por necessitarem se movimentarem somente em uma direção linear tanto no desengate quanto na ignição, diferentemente dos outros dois citados anteriormente, que necessitam se movimentarem nos dois sentidos (horário e anti-horário, para abertura e fechamento das válvulas), fazendo-se necessário usar o modulo L298N, que é uma ponte H dupla.

Já na parte interna do foguete, existem dois atuadores, que seriam acionados também de modo remoto: a válvula 4, que é uma válvula solenoide, responsável pelo controle da pressão do tanque do foguete, ou seja, ela fica abrindo e fechando a fim de estabilizar a pressão interna do foguete liberando gases internos durante o abastecimento; e a válvula 5, que é aberta na ignição, expulsando o óxido nitroso do tanque do foguete em direção à câmara de combustão. Ambas serão abertas em um só sentido; portanto, foi proposto usar um módulo de dois relés SRD-05VDC-SL-C para seu acionamento pelo microcontrolador interno do foguete.

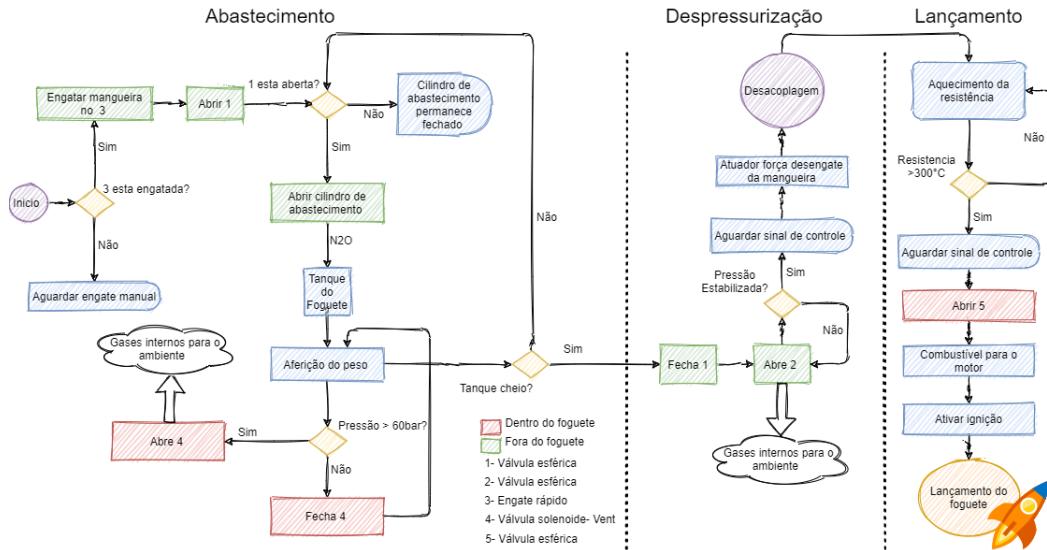


Figura 59 – Diagrama lógico do abastecimento foguete.

Fonte : Autor

4.5.2 Acionamento eletrônico das válvulas externas e ignição

As válvulas externas terão o seu acionamento controlado pelo microcontrolador ESP32 LoRa contido na base de lançamento do foguete, o qual também atua no controle da balança. Por meio dele serão enviados comandos de acionamento para fechar e abrir as válvulas externas durante o processo de abastecimento do foguete.

De acordo com informações obtidas do grupo de estrutura, serão necessários 3 adaptadores externos, sendo 2 válvulas esféricas que atuam no tanque de combustível e mangueira, e 1 atuador para desengate rápido, onde é necessário apenas o desengate remoto, pois o engate é manual.

As válvulas esféricas serão acionadas por meio de dois motores, um para cada válvula, onde o microcontrolador fará o seu acionamento por meio de uma Ponte H, enviando comandos para girar o motor em sentido horário ou anti-horário, ou seja, abrir ou fechar a válvula. A solução mecânica entre motores e válvulas é detalhado na estrutura.

De acordo com a estrutura, os motores usados para controle das válvulas esféricas são do modelo Mabuchi 8d 12V. Esse motor é alimentado com 12V, com um consumo de corrente de 1,3A e torque de 9,12 N.m / 93 Kg. Para controle dos motores será necessário o uso de ponte H para realizar abertura e fechamento, controlando o sentido de rotação dos motores.

A ponte H é um circuito que serve para variar o sentido da corrente em uma determinada carga, bem como controlar sua potência. A figura 60 apresenta o circuito típico de uma ponte H.

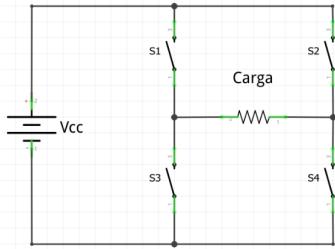


Figura 60 – Circuito típico de uma ponte H.

Fonte : ([GUIMARAES, 2018](#))

Com base nas especificações dos motores, foi escolhido o Driver Motor Ponte H L298n, figura 61, para controle destes. Esse módulo possui tensão de operação de 4 a 35V, com corrente de operação máxima de 2A por canal (ou 4A máxima), tensão lógica de 5V, corrente lógica de 0 a 36mA e potência máxima de 25W ([STMICROELECTRONICS, 2020](#)). O grande benefício desse módulo é que, com ele, é possível controlar dois motores ao mesmo tempo e, se necessário, controlar a velocidade deles, atuando no PWM do sinal enviado.

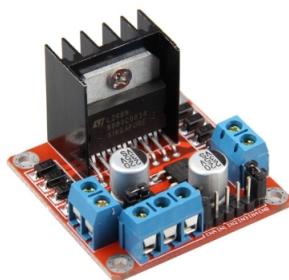


Figura 61 – Driver Motor Ponte H L298n.

Fonte : ([FILIPEFLOP,](#))

Como o módulo da ponte H trabalha com tensão lógica de 5V, é necessário o uso de um conversor lógico de 3.3V (tensão lógica dos pinos da ESP32 LoRa) para 5V. Para tal, foi escolhido o Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional (4 Canais), figura 62. Esse conversor é capaz de elevar tensões de nível lógico de 3,3V para 5V, e isso de forma totalmente segura, possuindo 4 canais independentes que permitem a conversão de sinal. Entretanto, o conversor não é capaz de funcionar com sinais analógicos. A placa necessita de alimentação das duas tensões (alta tensão e baixa tensão) com que seu sistema estiver trabalhando ([OLIVEIRA,](#)).

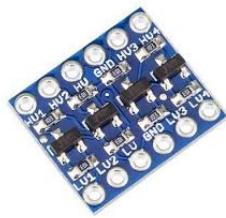


Figura 62 – Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional (4 Canais)

Fonte : ([ARDUCORE](#),)

Ressalta-se que na parte externa ao foguete, tem-se também o engate rápido, cuja solução mecânica não faz parte do escopo do projeto e sim da CRT. Todavia, apenas o acionamento eletrônico do seu desacoplamento do foguete faz parte do escopo da eletrônica, devido a necessidade de fazê-lo de maneira remota.

Para tal, a solução adotada pela CRT é que o desacoplamento do engate seja feito com o auxílio de um motor de vidro elétrico universal, modelo Mabuchi 8d 12v, o mesmo modelo utilizado para as válvulas esferas. O desacoplamento deve ocorrer quando o motor for acionado, onde um cabo de aço preso ao engate irá enrolar ao eixo no motor, puxando a mangueira para fora do engate.

Por fim, tem-se externo ao foguete a resistência de ignição, um fio ignitor de Níquel Cromo (Ni-Cr) com resistência calculada em 2,23 Ohms, a qual deve ser acionada pelo microcontrolador da base, assim que o comando for enviado para propulsão do foguete. O acionamento da ignição é realizado quando uma corrente de 5,38A passa pela resistência, alimentada pela bateria de 12V e esta encandeia alcançando a temperatura de 300°C, fazendo o propelente entrar em combustão.

Uma vez que o motor de desengate não precisará inverter o sentido de rotação, a resistência de ignição é acionada pela passagem de uma corrente direta, ou seja, tensão DC; não é necessário o uso de ponte H, portanto, para realizar ambos acionamentos, será utilizado um módulo Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C, figura 63. Esse relé possui 2 canais, um para o motor de desengate e outro para a resistência de ignição, possui tensão de operação de 5V, com um consumo de corrente típica de 15 20mA e possui capacidade na faixa de (30 VDC a 10A) ou (250VAC a 10A), o que atende a especificação do motor Mabuchi e da resistência de ignição ([SONGLE](#),).

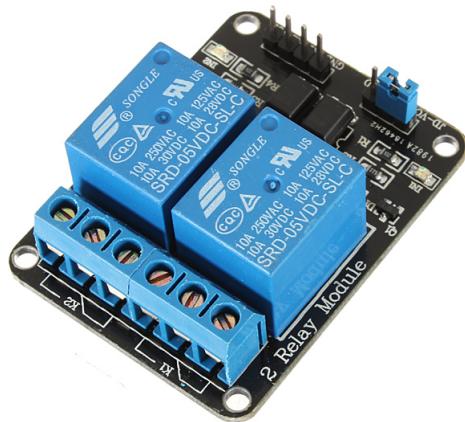


Figura 63 – Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C

Fonte : ([FILIPEFLOP](#),)

A conexão dos módulos atuadores das válvulas, do desengate e da ignição no microcontrolador é estabelecido conforme esquema da figura 64.

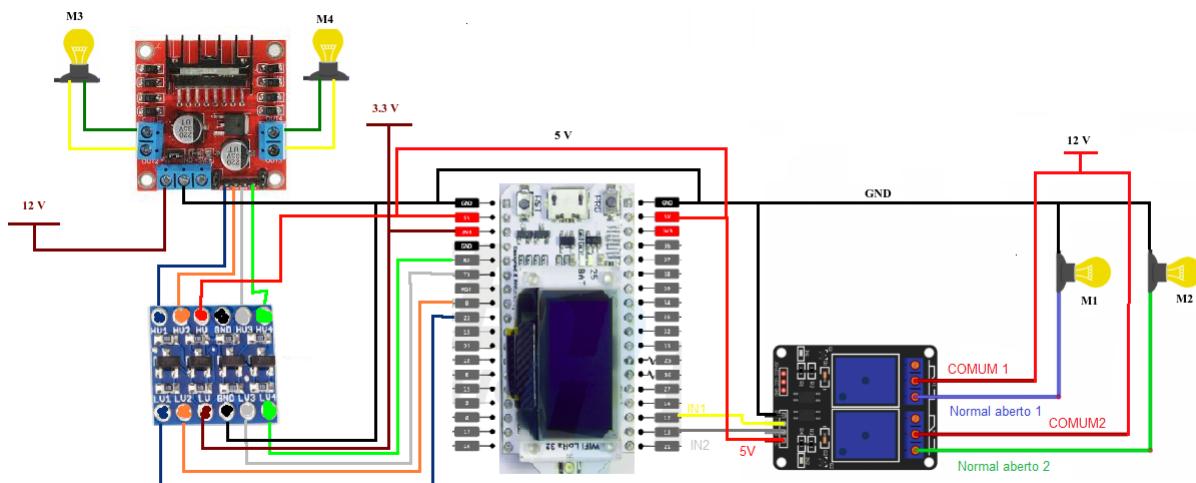


Figura 64 – Conexões entre atuadores externos e microcontrolador da base de lançamento.

Fonte : Autor

Onde, M1 é o motor do desengate remoto, M2 é a resistência de ignição e M3 e M4 são os motores de abertura e fechamento das válvulas esferas do cilindro de combustível e mangueira, respectivamente.

4.5.3 Açãoamento eletrônico das válvulas internas

As válvulas internas do foguete, serão controladas e acionadas pelo microcontrolador ESP32 LoRa presente no foguete, o qual também faz o controle dos sensores de pressão e temperatura e módulo GPS.

Uma vez que é necessário acionar com precisão a válvula 4, ou seja, uma válvula solenoide, não é necessário o uso de ponte H. Portanto, para realizar o açãoamento desta, será utilizado um relé que atende a necessidade de ficar acionando a válvula solenoide de tempo em tempos, e a outra válvula interna é do tipo esférica que será aberta somente uma vez também será acionado por relé, assim foi definido o uso do Módulo Relé 5V 2 Canais modelo SRD-05VDC-SL-C, figura 63, com as configurações supracitadas anteriormente. Esse relé possui 2 canais, um para a válvula solenoide e um para o motor da válvula 5 controlados pela ESP32-LoRa de dentro do foguete que mandará os sinais de controle para o modulo de relés e pode ser observado melhor no diagrama esquemático do circuito interno do foguete na figura 66.

4.5.4 Comunicação hardware e software

Visto que um dos maiores objetivos do projeto é a realização da telemetria com os dados vindos do foguete, este tópico tratará a maneira pela qual será realizada a comunicação entre o *hardware* e a aplicação de *software* e também como o dado trafegará em todo o sistema.

Para exemplificar de forma mais clara o caminho e os protocolos usados, a explicação será feita pro meio do apêndice E, onde juntamente com a equipe de *software* foi desenvolvido um diagrama de sequência tratando os processos que envolvem esta comunicação.

Todos os comandos são inseridos pelo usuário por meio do teclado, então o *software* do sistema informa essas ações via comunicação serial para o microcontrolador da maleta, pois ambos estão conectados via USB. Assim que o comando chegar neste primeiro microcontrolador, ele é transmitido para a base do foguete ou para o próprio foguete, via comunicação LoRa, dependendo do processo que está sendo executado.

A partir do momento em que a missão de lançamento é iniciada pelo usuário figura 108, sera estabelecido uma comunicação entre os microcontroladores da maleta e da base, esta comunicação durará até a faze da ignição do foguete. Com essa comunicação estabelecida o primeiro comando a ser executado é do abastecimento do foguete 109. Para este comando é necessário que sejam enviados os dados do peso do foguete vazio e o peso do foguete cheio, assim que esses dados forem inseridos eles serão transmitidos para o microcontrolador da base e uma confirmação de inicio de abastecimento será retornada. Durante o abastecimento o dado do peso atual do foguete será transmitido para a interface

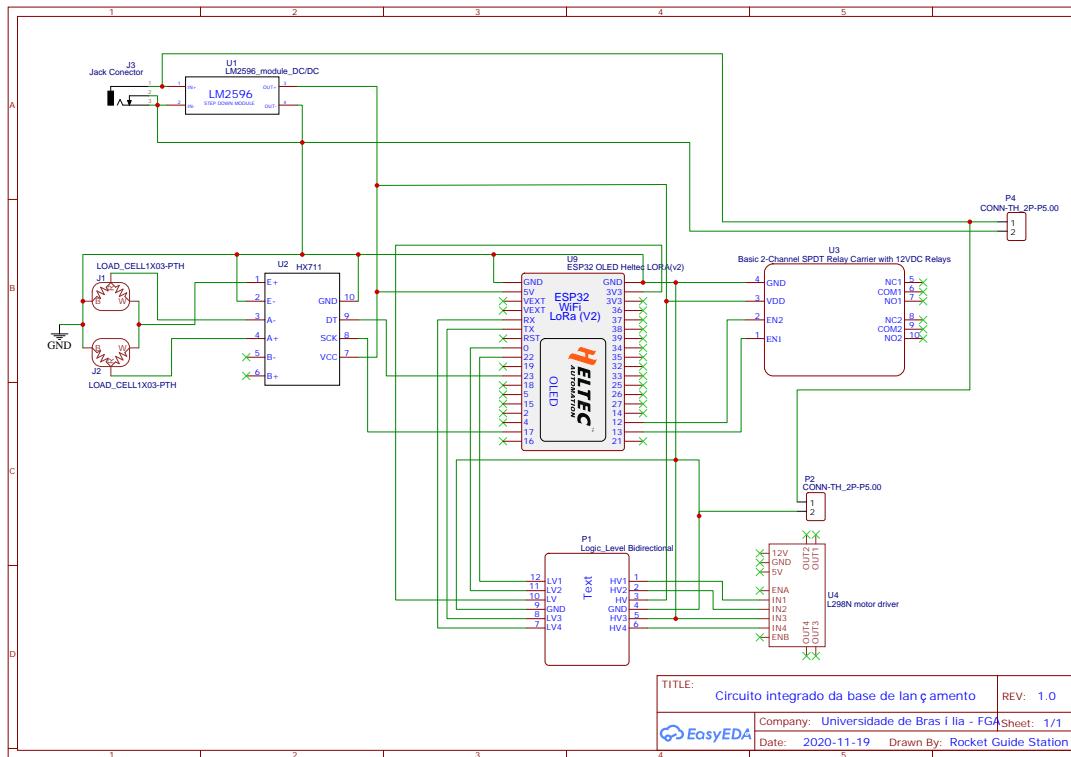
do usuário até que peso esperado seja atingido, quando uma confirmação será enviada indicando o termino do processo.

O próximo comando é o do desengate da mangueira de abastecimento figura 110. Assim que este comando for aplicado pelo usuário, uma confirmação de inicio de desengate será retornada do hardware para o software e, como dito anteriormente, o comando será enviado para o microcontrolador da base, que executará a despressurização da mangueira e posteriormente o acionamento do motor responsável pelo desengate. Após o processo uma confirmação de termino do desengate será retornada.

Seguindo o processo, o próximo comando trata-se do inicio da ignição e é durante este comando em que ocorre a troca de comunicação do sistema da base para o o microcontrolador do foguete. Assim que este comando é acionado o microcontrolador da base aciona o ignitor e a troca da comunicação, citada anteriormente, é realizada. A partir do momento em que a comunicação com o foguete for estabelecida a válvula de lançamento será aberta, fazendo com que o foguete seja lançado. A partir deste momento o usuário receberá uma mensagem de termino da ignição e passará a receber todas as informações dos sensores do foguete.

4.6 Diagramas e esquemáticos

Com a definição da solução e dos componentes da base de lançamento, foi criado o esquemático do circuito integrado, com detalhamento de pinos, conexões e módulos utilizados. A figura 65 apresenta o circuito integrado da base de lançamento, com os componentes da balança e os módulos dos atuadores externos, assim como bornes para os motores. Na figura 66, encontra-se o diagrama esquemático, o detalhamento das conexões do sensoriamento interno do foguete, assim como a parte de controle das válvulas internas. Na figura 67, por sua vez, tem-se o esquemático com as conexões na base central de comando entre a ESP32 Wifi Lora e a Jetson e outros periféricos. Os esquemáticos foram feitos utilizando as ferramentas do *software EasyEDA*,assim como o projeto de suas PCIs.



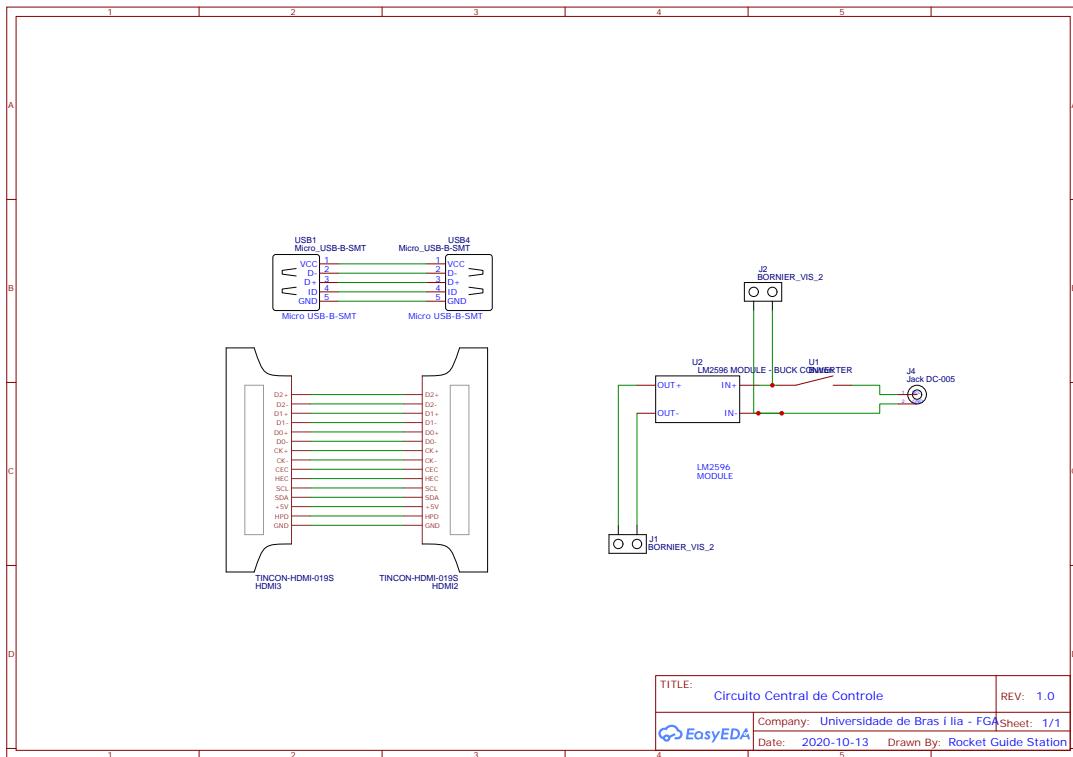


Figura 67 – Diagrama esquemático do circuito da central de controle do usuário.

Fonte: Autor

4.7 Placa de circuito impresso

Para melhor funcionamento e durabilidade do circuito, é necessária a criação do desenho de placa de circuito impresso, conhecido como PCI, que é gerido por regras que visam garantir a qualidade do funcionamento do circuito IPC-2221B (GROUP, 2012), visando a disposição dos componentes para melhor acomodação mecânica e eletromagnética, a fim de evitar interferências no circuito.

Basicamente, é constituída por uma base de um material isolante, geralmente fenolite ou fibra de vidro, revestida por uma fina camada de cobre na sua superfície, onde ocorre as ligações entre os componentes eletrônicos que podem ser do tipo PTH ou SMD(SILVA, 2013).

As placas utilizadas nesse projeto serão feitas de modo a acomodar componentes do tipo PTH, ou seja, componentes que serão inseridos na placa através de um furo denominado de pads, sendo necessário uma acurácia para não errar no distanciamento dos furos, evitando assim mal posicionamento dos componentes eletrônicos.

Outro levantamento importante que é necessário fazer no projeto de uma PCI é a largura das trilhas, que são responsáveis pelas conexões elétricas entre os componentes, a qual é determinada pela corrente que irá passar pela trilha e pela espessura da trilha.

de cobre e a temperatura ([LIMA, 2010](#)). Os cálculos das trilhas foram feitos no site [PCBBRASIL](#) que segue os critérios da norma IPC-2221B para confecção de placas de circuito impresso.

Para a confecção da placa de circuito impresso foi gerado o arquivo Gerber de cada placa de circuito impresso, sendo gerado um arquivo em formato ZIP disponível em [Arquivos Gerber](#). Para a visualização dos arquivos Gerber é necessário a utilização de um programa de prototipagem de placas de circuito impresso ou um visualizador desse tipo de arquivo disponível para [download](#) no site do programa utilizado para o projeto EasyEda.

4.7.1 Circuito interno do foguete

Na figura [66](#), está representado o circuito interno do foguete. Assim, na figura [68](#), encontra-se o projeto mecânico da placa de circuito impresso com as dimensões para sua fabricação. Foram adicionados cinco buracos na PCI no intuito de facilitar sua fixação dentro do foguete com parafusos de diâmetro de 5mm. Na figura [69](#), por sua vez, é apresentado o modelo 3D da PCI com com o sistema de alimentação à esquerda da placa, separado dos outros componentes a fim de evitar interferência eletromagnética no restante da placa. Foi adicionado a essa placa esse sistema para garantir a tensão adequada para os componentes.

A placa a ser produzida possui espessura padrão de 1,6mm, com tolerância nominal de $\pm 0,13\text{mm}$. Nessa PCB específica, são utilizadas duas camadas de cobre para as trilhas; portanto, serão feitas trilhas tanto na *Top Layer* quanto na *Bottom Layer*, ou seja, *multilayer*, garantindo uma melhor distribuição das trilhas. Por ser um módulo que vai dentro do foguete, inicialmente foi pensado em usar componentes do tipo PTH e a plaquinha de desenvolvimento da ESP32Lora, da Heltec, pois não são feitos muitos lançamentos. A ideia é utilizar primeiramente uma PCB nesse formato para testes e melhorias no projeto, antes de confeccionar uma placa mais enxuta com componentes SMD.

Para essa versão inicial das placas de circuito impresso, seriam feitas de fenolite (FR2), que é um material mais barato para a confecção e quando tiver os componentes testados será feito em material de vibra de vidro(FR4)([MEHL, 2013](#)).

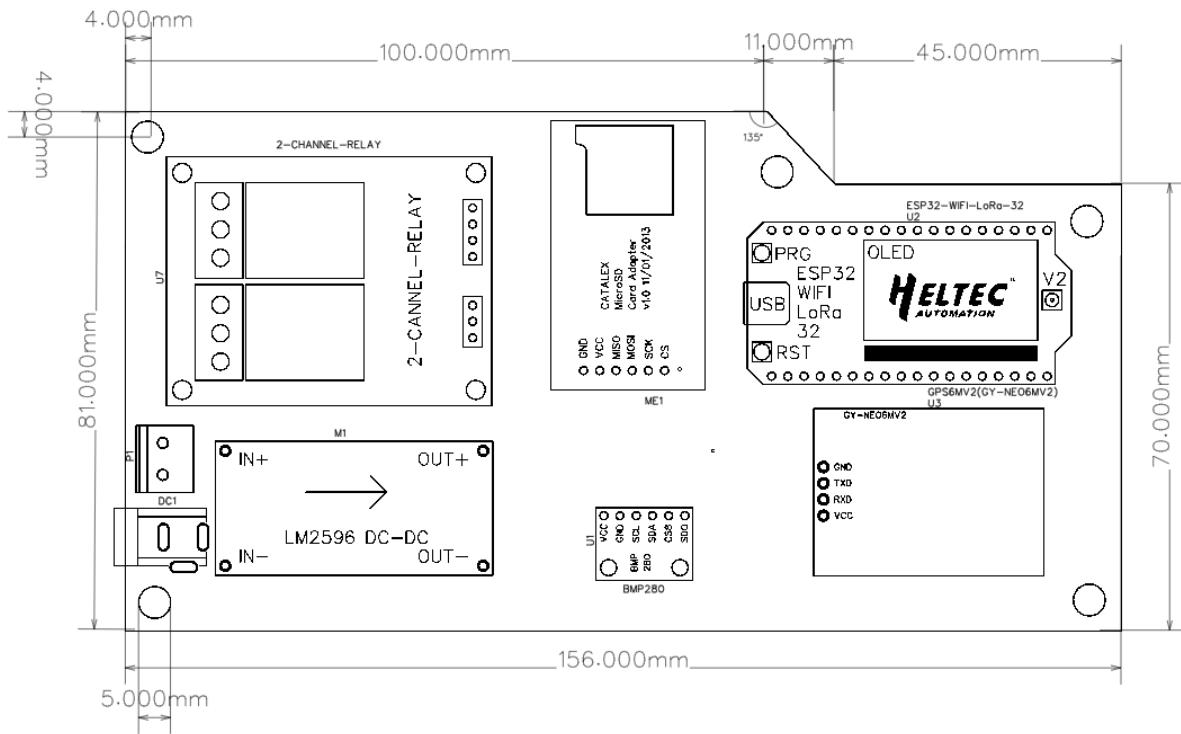


Figura 68 – Dimensões da PCI do circuito interno do foguete.

Fonte : Autor

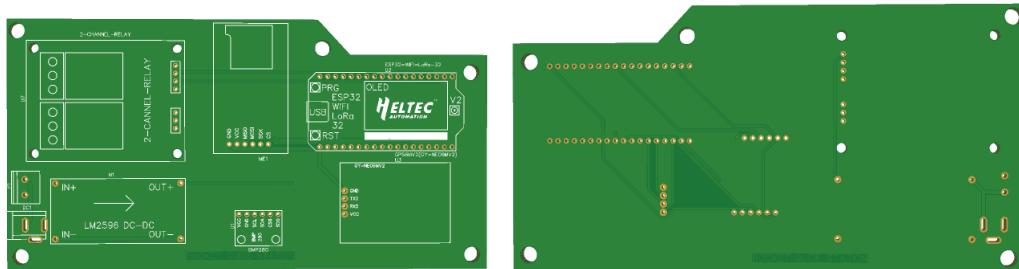


Figura 69 – PCI do circuito interno do foguete.

Fonte : Autor

4.7.2 Circuito na base de lançamento

Objetivando reduzir o número de fios e cabos utilizados no circuito da base de lançamento, assim como obter a menor ocupação de volume de circuitaria e componentes, foi criado o modelo de PCI com base no circuito integrado citado na figura 65. Foi optado o modelo *Bottom Layer* para as trilhas da PCI, ou seja, contém apenas uma camada de cobre.

A figura 70 mostra o desenho da PCI, junto com suas cotas de dimensões definidas, que foram de 88mm x 109mm. Os buracos nos cantos da PCB, com diâmetro de 4mm e distâncias das bordas de 3mm, servem pra fixação da placa na estrutura da base.

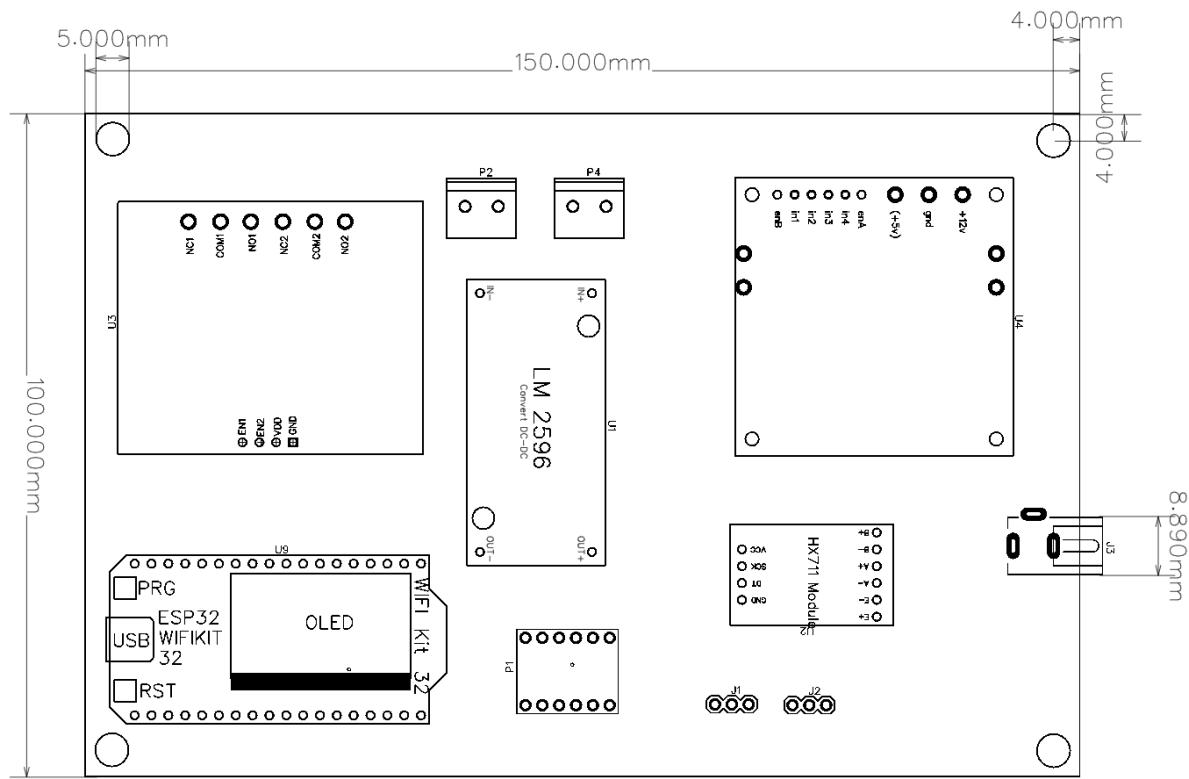


Figura 70 – Dimensões da PCI do circuito interno da base de lançamento.

Fonte : Autor

A figura 71 apresenta a visão frontal da PCI, onde é possível visualizar a posição dos componentes, tais como encaixes dos pinos e os bornes dispostos nas extremidades, e a visão traseira da PCI, onde se encontra a camada de fundo (*Bottom Layer*), com as trilhas do circuito.

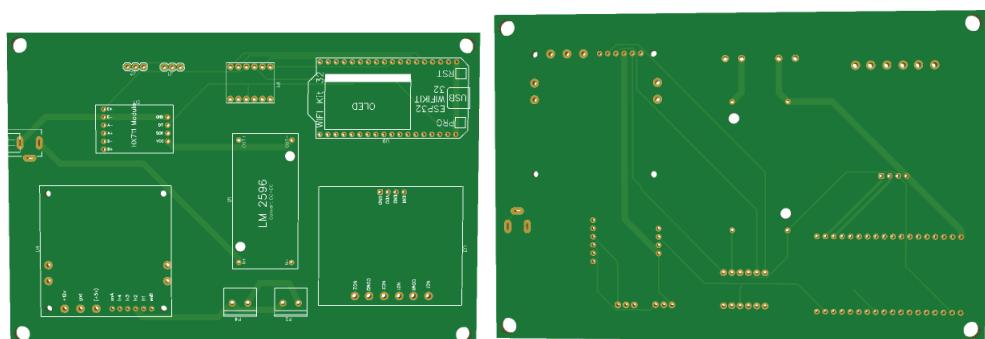


Figura 71 – PCI do circuito interno da base de lançamento

Fonte : Autor

4.7.3 Circuito na base de controle central

A ideia dessa PCI é reduzir o número de cabos utilizados dentro da maleta do usuário. De acordo com o espaço e a disposição dos componentes mostrado na figura 89 e na figura 73 pensou-se em fazer uma placa de modo que os módulos sejam encaixados nas laterais da PCI. Para isso foi verificado todos desenhos técnicos dos componentes, mapeando então os conectores por meio dessas medidas fornecidas pelo fabricante. Os conectores precisarão ser do tipo macho para que o encaixe seja realizado. Isso traz vantagens: caso algum módulo sofra dano, bastará desconectá-lo e realizar a troca.

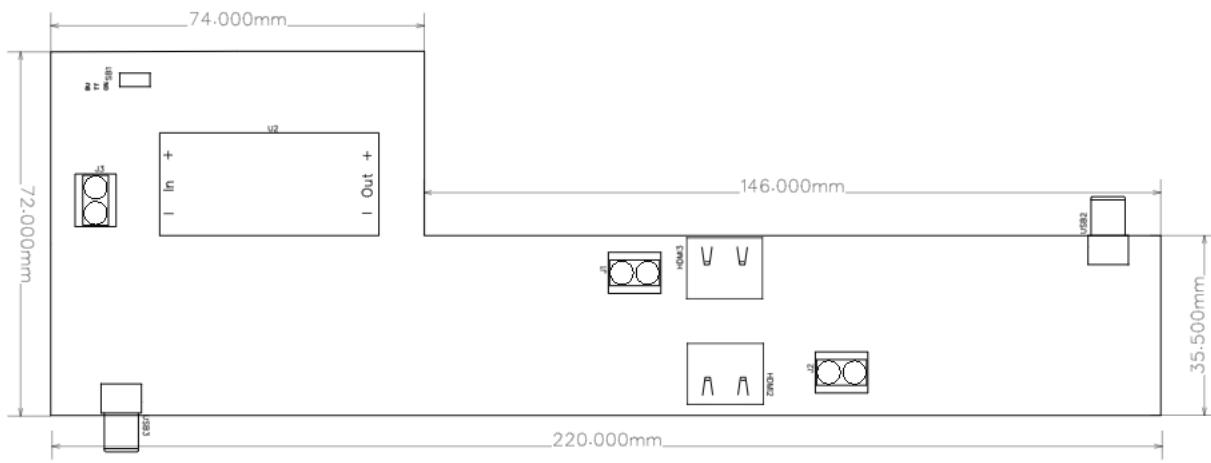


Figura 72 – Dimensões da PCI do circuito da central de controle.

Fonte : Autor

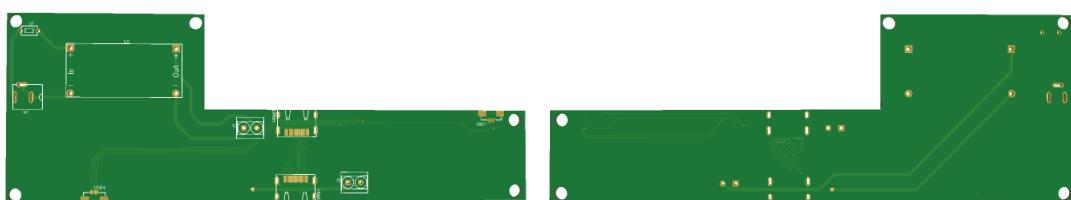


Figura 73 – PCI do circuito interno do foguete.

Fonte : Autor

5 Energia

A solução de energia do projeto consiste no dimensionamento de baterias que atendam às especificações e requisitos do sistema, tanto dos dispositivos eletrônicos quanto do sistema de ignição e lançamento. Além disso, é projetado um carregador de bateria para tornar contínuo o uso do equipamento.

Para dimensionar o consumo do sistema, foi observado o gasto energético dos componentes eletrônicos, levando em conta que o projeto precisa de uma autonomia de, no mínimo, duas horas de uso sem a possibilidade de ter como fonte de energia a rede elétrica.

Anteriormente, ao dimensionar o sistema de alimentação do projeto, foi definido que seria utilizada apenas uma bateria que alimentasse todos os componentes. Porém, ao avaliar melhor as necessidades do projeto, em especial a distância de segurança (500 m) entre o usuário e a base de lançamento do foguete, optou-se por dimensionar dois sistemas, de forma a eliminar a utilização de cabos para alimentar os componentes que precisariam estar na base.

A utilização de cabos entre a base e o sistema de controle, além de não ser viável do ponto de vista do usuário, também provocaria impactos a serem considerados no projeto, como a queda de tensão atrelada a um cabo de grande extensão como o que seria necessário.

Sendo assim, para aumentar a qualidade e melhorar a usabilidade do produto, foi definido que o projeto será composto por dois sistemas: o sistema de controle e o sistema da base. Cada sistema será alimentado eletricamente de forma individual. Os dois sistemas estarão interligados por telemetria, conforme descrito na solução de eletrônica, e serão controlados pelo usuário, que utilizará o sistema de controle (maleta) a uma distância segura da base de lançamento.

5.1 Ignição

Para dimensionar o sistema de alimentação elétrica do projeto, é necessário realizar o dimensionamento do consumo de potência do ignitor, que faz parte do sistema da base de lançamento. O tipo de ignitor utilizado pela CRT é o fio de Níquel Cromo (Ni-Cr), os cálculos foram realizados com base nesse tipo de ignitor.

Para o ignitor de Níquel Cromo foi considerado o diâmetro de $0,80\ mm^2$ e temperatura de ignição de 300°C , a CTR não dispunha dessas informações, mas esses foram os parâmetros mais comuns encontrados para esse tipo de sistema ([EDUFER, 2020](#)).

No site do fabricante ([SUPERSTEEL, 2020](#)), há uma tabela que permite, com a entrada desses dados, obter a resistência (em Ohm/m). A partir desse dado, utilizando a primeira Lei de Ohm, com o valor de tensão fornecido pela bateria (12V) será calculada a corrente consumida pelo ignitor.

A resistência obtida por meio da tabela do fabricante é de 2,23 Ohms/m, considerando um enrolamento de 1m, a resistência do ignitor é 2,23 Ohms. A corrente pode ser descrita de acordo com a primeira Lei de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \quad (5.1)$$

$$I = \frac{12}{0,23} \quad (5.2)$$

$$I = 5,38A \quad (5.3)$$

Com o valor da corrente obtido e com base na relação entre corrente, tensão e potência, pode ser calculada a potência consumida.

$$P = I \times V \quad (5.4)$$

$$P = 5,38 \times 12 \quad (5.5)$$

$$P = 64,56W \quad (5.6)$$

O ignitor será utilizado somente uma vez a cada lançamento, e apenas para o momento de ignição do foguete. Para fins de segurança, de forma a garantir a autonomia do sistema, será adotado o tempo de utilização de 15 minutos.

5.2 Consumo dos sistemas

Como especificado anteriormente o projeto é separado por dois sistemas, a maleta e a base de lançamento. Nas tabelas 2 e 3 é apresentado o consumo dos principais componentes elétricos e eletrônicos de cada um dos dois sistemas e uma estimativa do período que cada componente será utilizado durante um lançamento.

Componentes	Tensão	Corrente	Potência	Tempo de Utilização
Tela	12V	1A	12W	2h30m
Jetson Nano Developer Kit	5V	2A	10W	2h30m
Teclado e botões	5V	250 mA	1,25W	2h30m
Módulo LORA - maleta	5V	500mA	2,50W	2h30m

Tabela 2 – Consumo elétrico dos componentes da maleta.

Com base na tabela 2, o somatório de potências do sistema é de 25,75W. Será utilizado o valor de 30 W por segurança. O lançamento de um foguete tem duração média de 2 horas, o valor utilizado será de 2 horas e 30 minutos, por segurança.

Sendo assim, o somatório da potência é multiplicado pelo tempo em horas.

$$30W \times 2,50h = 75Wh \quad (5.7)$$

Componentes	Tensão	Corrente	Potência	Tempo de Utilização
Módulo LORA - base	5V	500mA	2,50W	2h5m
Ignitor (Ni-Cr)	12V	5,38A	64,56W	15m
Atuadores (3x)	12V	3,90A	46,80W	15m

Tabela 3 – Consumo elétrico dos componentes da base de lançamento.

Para a alimentação dos componentes, vão ser utilizadas tensões contínuas de 5 V e 12 V. A bateria a ser utilizada será de 12V, já que a maior tensão dentre os equipamentos.

Com base na tabela 3, o somatório de potências do sistema é de 113,86W; porém, o valor utilizado de 2 horas e 30 minutos será usado apenas para o módulo, o ignitor e

os três atuadores funcionam apenas nos primeiros minutos do lançamento. Por isso para calcular a potência destes será usado o tempo de 15 minutos.

Para o módulo:

$$2,50W \times 2,50h = 6,25Wh \quad (5.8)$$

Para ignitor e atuadores:

$$111,36W \times 0,25h = 27,84Wh \quad (5.9)$$

A potência total consumida pela base é :

$$6,25Wh + 27,84Wh = 34,09Wh \quad (5.10)$$

Essa será a energia necessária consumida para a autonomia especificada. Por segurança será considerado o valor de 40 Wh. Pela Lei de Ohm temos:

$$I = \frac{P}{V} \quad (5.11)$$

$$I = \frac{34,09}{12} \quad (5.12)$$

$$I = 3,33Ah \quad (5.13)$$

5.3 Baterias

As duas baterias serão de 12V, já que esta é a maior tensão dentre todos os equipamentos nos dois sistemas.

Dentre os tipos mais comuns de baterias no mercado, estão as de chumbo-ácido e de íons de lítio.

A bateria de chumbo-ácido é a mais comum, é comercializada há mais tempo e requer pouca manutenção. Esse modelo não possui efeito memória, que diminui a capacidade de carga. Porém, o chumbo, além de ser tóxico, possui baixa densidade de energia, o que limita sua aplicação a sistemas portáteis leves ([PASSOLD F.POSSA, 2006](#)).

As baterias de íons de lítio têm como componente principal o lítio, que é um metal leve e com grande potencial eletroquímico, o que proporciona uma grande densidade de energia. Esse tipo de bateria também não possui efeito memória, importante em sistemas que sofrerão cargas e descargas frequentemente. Porém, essa tecnologia é mais recente, e o custo das baterias de íons de lítio é mais elevado ([PASSOLD F.POSSA, 2006](#)).

5.3.1 Sistema de controle - maleta

Para a bateria do sistema de controle, em formato de maleta, buscou-se no mercado o tipo de bateria mais compacto possível de forma a atender a carga dimensionada, o modelo mais adequado encontrado foi o modelo de baterias de notebook, que é de íons de lítio.

De acordo com o dimensionamento, a potência consumida é de 75Wh. Por questões de segurança será considerada uma descarga máxima de 80%, sendo assim a capacidade da bateria será:

Capacidade em Wh

$$75/0, 80 = 93, 75 Wh \quad (5.14)$$

A capacidade necessária para esse sistema é de 93,75 Wh. Foi selecionada uma bateria da fabricante Dell, de 9 células e capacidade de 97 Wh, com as características a seguir:

- Peso: 508,02 g
 - Dimensões
 - Profundidade: 71,79 mm
 - Altura: 20,00 mm
 - Largura: 214,00 mm

Na figura 74 é apresentada a bateria selecionada para a maleta.



Figura 74 – Bateria selecionada para o sistema de controle. Fonte: (DELL, 2020)

5.3.2 Sistema da base de lançamento

A capacidade calculada para o sistema da base de lançamento foi de 3,33 Ah. De acordo com o fabricante a capacidade da bateria deve ser mantida entre 50% - 60%, por segurança e de forma a prolongar a vida útil do equipamento. Considerando então uma descarga máxima de 40% a capacidade da bateria será:

Capacidade em Ah

$$3,33/0,40 = 8,33Ah \quad (5.15)$$

A capacidade necessária para esse sistema é de 8,33 Ah, a bateria selecionada deve ter capacidade de 9 a 10 Ah. Como mencionado anteriormente, as baterias mais comuns no mercado são de chumbo-ácido e de lítio. Dessa forma, buscou-se fabricantes que possuíssem os dois tipos de bateria, com a capacidade necessária para o sistema, para realizar uma comparação e selecionar a mais adequada.

Durante as pesquisas encontrou-se informações mais completas do fabricante *Unipower*, esse fabricante possui um modelo de bateria de chumbo-ácido de 12V e 9Ah e um modelo de lítio, de 12V e 10Ah. Ambas as baterias possuem as mesmas dimensões (100mm × 151mm × 65mm), porém, a bateria de chumbo-ácido pesa 2,5 kg enquanto a bateria de lítio pesa 1,5 kg. Como o sistema deve ser portátil é importante que ele seja o mais leve e compacto possível, dessa forma foi escolhido o modelo de lítio, que é mais leve e tem maior capacidade. O fabricante *Unipower* trabalha com um tipo específico de baterias de íons de lítio, as baterias de lítio ferro fosfato.

A bateria selecionada é a Bateria Lítio Ferro Fosfato - LiFePO4, modelo UPLFP12-10. Na figura 75 é apresentada a bateria selecionada para a base de lançamento.



Figura 75 – Bateria selecionada para a base de lançamento.

Fonte: ([UNIPOWER, 2017](#))

5.4 Regulador de tensão

Como as fontes de tensão são de 12V, serão utilizados módulos “*step down*” para regular as tensões direcionadas para alguns componentes do sistema. No projeto, será utilizado o módulo regulador de tensão modelo LM2596 apresentado na figura 76, pois este possui uma ampla faixa de tensões de entrada e pode ser regulado para uma tensão específica de saída com uma boa eficiência ([INSTRUMENTS, 1999](#)).

A faixa de tensão utilizada será de 5V, de acordo com a necessidade de cada dispositivo eletrônico no sistema.



Figura 76 – Regulador de tensão modelo LM2596.

5.5 Funcionamento do sistema de alimentação

A partir da definição de todos os equipamentos é possível visualizar o funcionamento de cada sistema de alimentação.

O diagrama em blocos do sistema de controle pode ser observado na figura 77

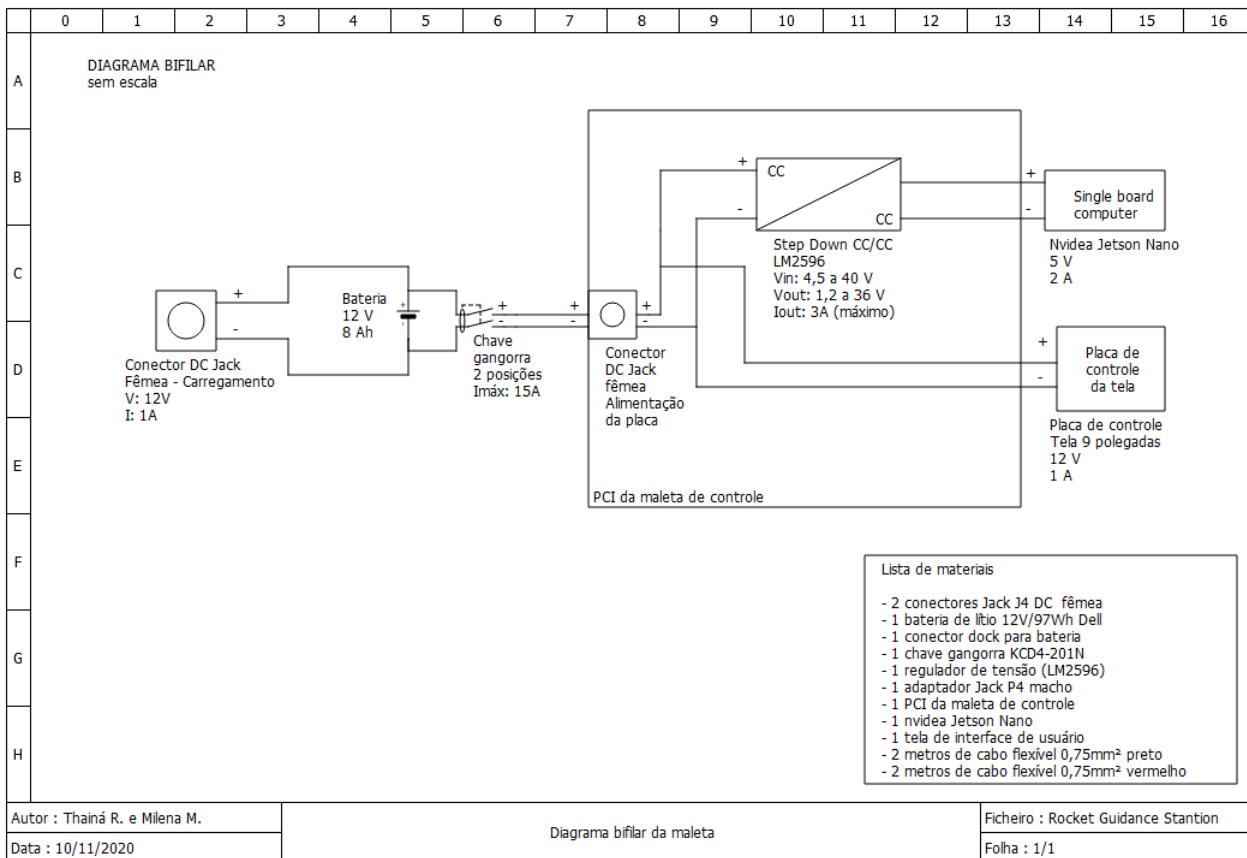


Figura 77 – Diagrama bifilar do sistema de controle - maleta.

Nesse sistema a bateria alimenta diretamente a Placa de Circuito Interno (PCI) da maleta de controle. Nessa placa estão dispostas todas as conexões de alimentação e de dados com relação a tela e ao *Single Board Computer*, o regulador de tensão está incluso na placa. Entre a bateria e a placa há um botão interruptor, de forma a ligar ou desligar o sistema como um todo.

O diagrama bifilar do sistema da base de lançamento pode ser observado na figura 78

No sistema da base de lançamento a bateria alimenta diretamente o conector *jack* fêmea, de saída da alimentação. Por questões de segurança a bateria não deve ficar no local de conexão do ignitor e demais atuadores do lançamento, estes dois sistemas devem ficar a aproximadamente dois metros de distância. Por essa razão, um cabo deve conectar os sistemas, por meio de conectores *jack*, para realizar a alimentação dos atuadores do lançamento.

As conexões de dados e de alimentação dos atuadores das válvulas, do desengate e do ignitor são realizadas por meio da PCI da base de lançamento.

O diagrama unifilar do sistema de carregamento das baterias pode ser observado

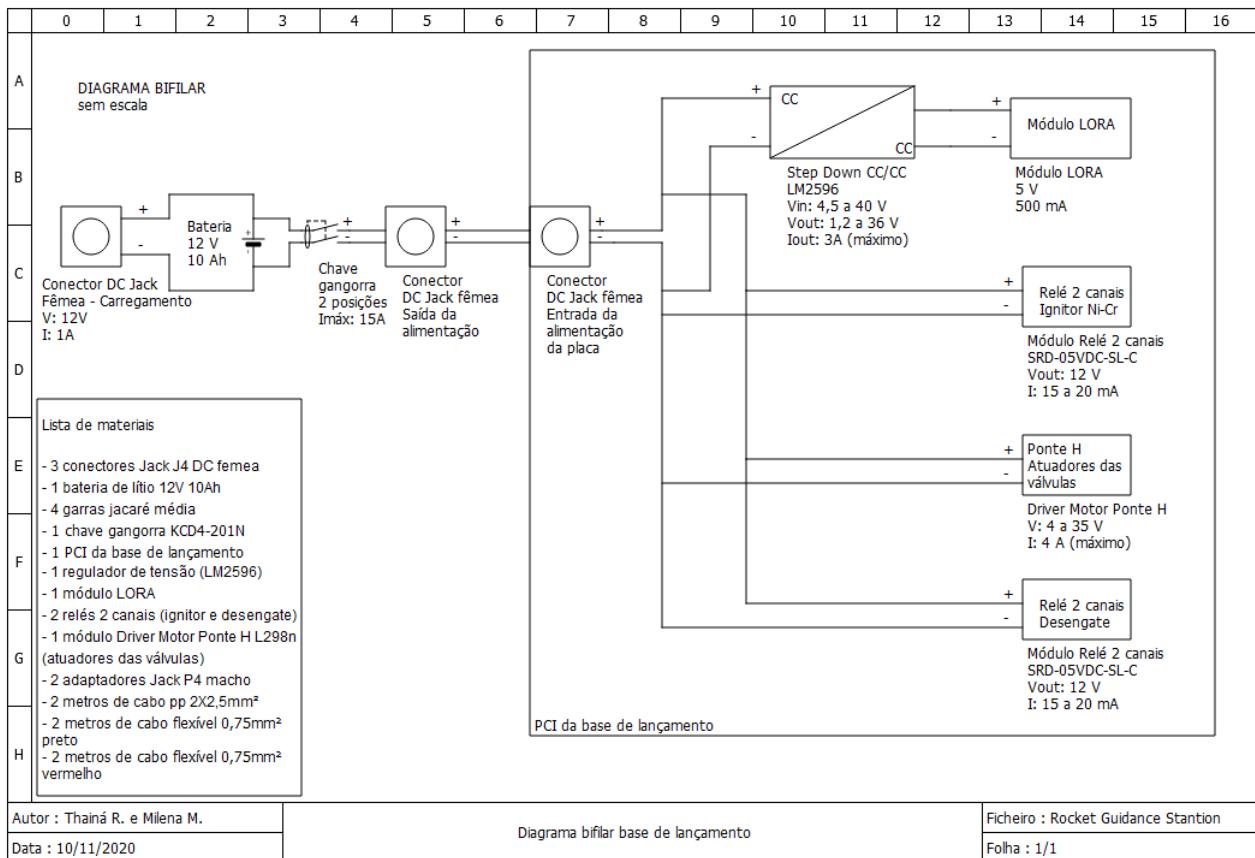


Figura 78 – Diagrama bifilar da base de lançamento.

na figura 120 do Apêndice I.

5.6 Carregador de bateria

A solução inicial para o sistema consistia em realizar o carregamento da bateria *off grid*, ou seja, sem conexão com a rede elétrica, a partir do uso de placas fotovoltaicas. Porém, ao analisar as condições de operação do sistema, em especial o tempo de operação, que é previsto para no máximo 2 horas, concluiu-se que a solução mais adequada seria realizar o carregamento *on grid*, conectado à rede elétrica, a partir de um carregador de bateria, a ser projetado.

Dessa forma, as baterias, tanto da maleta quanto da base, serão levadas com carga completa até o local de lançamento, todo o sistema poderá ser alimentado a partir delas, e, ao retornar para um local com conexão à rede elétrica, as baterias poderão ser recarregadas, e o sistema estará pronto para o próximo uso.

Como as duas baterias são de Íon-Lítio, será projetado um único carregador que seja compatível com as especificações técnicas das duas baterias usadas no projeto, a tensão de saída deve ser no máximo de 14,6V e a corrente máxima de saída 10A.

5.6.1 Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação será a responsável por entregar a tensão e a corrente necessária para carregar as duas baterias do sistema, como o carregador será ligado à rede elétrica, foi projetado um circuito capaz de converter corrente alternada (rede elétrica) para corrente contínua (usada no projeto) e fazer a redução de tensão (no caso, de 110/220V para 30V). Para isso, foi inserido um transformador, uma chave seletora de tensão HH e um retificador de onda completa.

5.6.1.1 Transformador

Um transformador é constituído basicamente de dois enrolamentos onde o fluxo magnético, variável, produzido em um age sobre o outro. O enrolamento no qual a fonte é aplicada é o primário do transformador e o enrolamento onde a carga é conectada é o secundário ([KOSOW, 1982](#)).

Para o projeto, deseja-se a utilização de um transformador de tensão (com *center-tapped*), que será responsável por abaixar a tensão. Em nosso caso, a tensão de entrada será a tensão fornecida pela rede, que poderá ser escolhida pelo usuário por meio da chave seletora de tensão e pode ser de 110V ou 220V alternada, e a tensão de saída será a tensão desejada para o funcionamento do projeto, que será de 30V, ainda alternada na saída do transformador. O transformador escolhido é apresentado abaixo na figura 79 .



Figura 79 – Transformador 30+30V 1A Bivolt. Fonte: ([HUNION, 2020](#))

5.6.1.2 Retificador de onda completa

Como a tensão na saída do transformador é alternada é necessário um retificador para torná-la contínua, o Retificador de onda completa consiste no uso de 2 diodos acoplados ao transformador que contenha *center-tapped*, para garantir a retificação de onda completa.

Os diodos são dispositivos eletrônicos que permitem a passagem de corrente elétrica em apenas um sentido. Eles só permitem a passagem de corrente elétrica quando esta é polarizada diretamente, ou seja, quando o polo positivo da fonte entra em contato com o polo positivo do diodo (WENDLING, 2011). No circuito, o diodo funciona de acordo com a figura 80

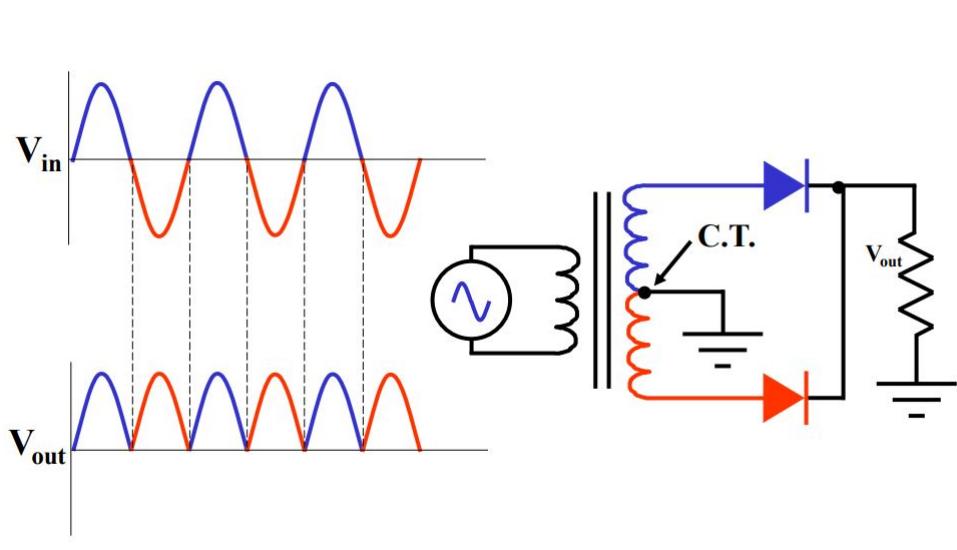


Figura 80 – Esquemático de um retificador de onda completa. Fonte: (WENDLING, 2011)

5.6.2 Circuito de carregamento

O carregador de baterias de lítio íon é um dispositivo limitador de tensão similar ao carregador de baterias de chumbo-ácido. A diferença está em uma maior tensão por célula, uma tolerância de tensão menor e a ausência de carga de flutuação ou pulsante quando a carga completa é alcançada (MICHELINI, 2020).

O tempo de carga de todas as baterias de Lítio-Íon, quando carregadas a uma corrente inicial de 1A, é de aproximadamente 3 horas. A bateria permanece fria durante a carga. A carga completa é alcançada depois que a tensão alcança o limiar de tensão superior e a corrente ter caído e se igualado a 3% da corrente de carga nominal. Na figura 81, é mostrada a curva de carga de uma bateria de Lítio íon.

Baterias de lítio íon são projetadas para operar seguramente dentro da sua tensão normal de operação, mas tornam-se cada vez mais instáveis se carregadas em voltagens maiores. Por esse motivo, é importante que haja circuitos internos de controle de tensão que interrompem a bateria em subtensão ou sobre tensão (MICHELINI, 2020).

Foi criado, usando o software Proteus, o circuito de carregamento das baterias (já inserida a fonte de alimentação). O apêndice I contém o desenho do circuito criado. Nas figuras 82 e 83 são apresentados os testes de simulação do circuito contendo as medições de tensão e corrente.

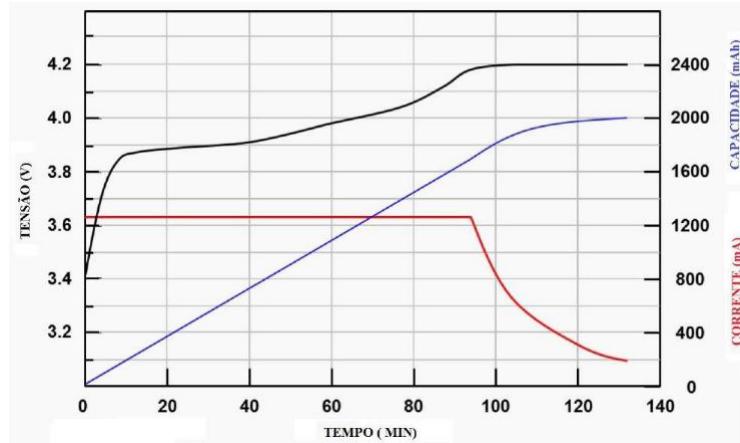


Figura 81 – Curva de carga da bateria de Lítio íon. Fonte: ([MICHELINI, 2020](#))

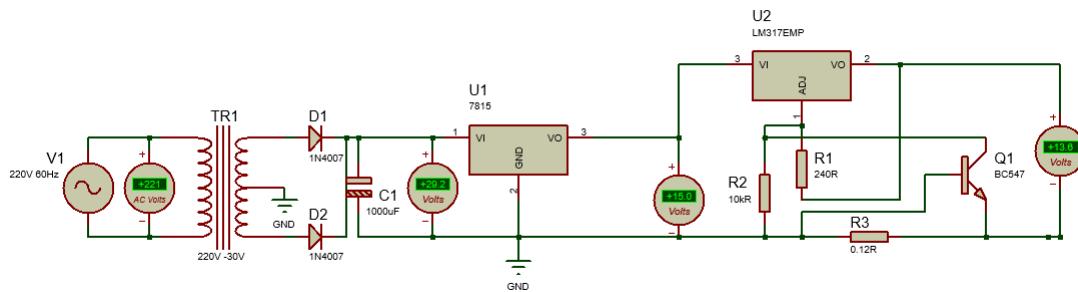


Figura 82 – Medição de tensão no circuito carregador. Fonte: ([WENDLING, 2011](#))

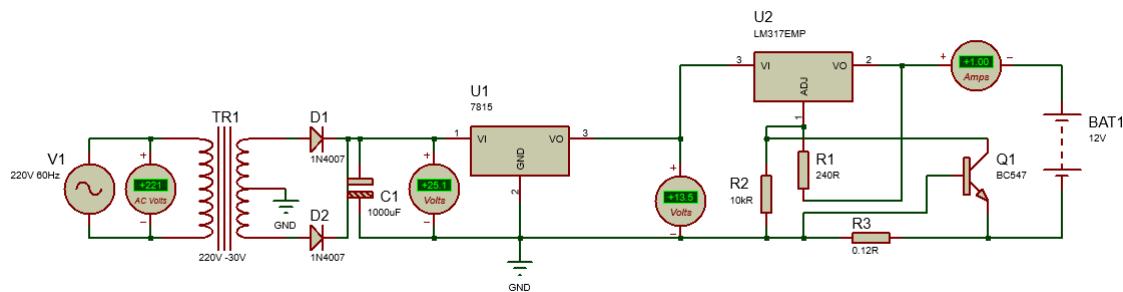


Figura 83 – Medição de corrente no circuito carregador.

Observando as medições, é possível comprovar que, ao final do circuito, a bateria recebe uma tensão de 13.6V e uma corrente de 1A, capaz então de recarregá-la até 12V. O circuito de carregamento faz o controle da tensão para manter a carga, caso, depois de cheia, se a bateria perder a carga, o carregador reativa-se até ficar novamente com a carga completa. Desse modo, a bateria pode estar ligada de forma permanente ao carregador, mantendo a carga completa sem nenhum dano a bateria ou ao circuito.

Depois de testado o circuito de carregamento foi projetado a Placa de Circuito Impresso (PCI) do carregador de baterias com todos os dispositivos eletrônicos necessários

para o funcionamento do carregador e com um conector Jack fêmea para ser a conexão entre a fonte do carregador e a maleta de controle ou a base de lançamento do projeto.

O projeto da PCI do carregador foi feito usando o programa EasyEDA, nele foi montado o circuito eletrônico e adaptado para uma placa com trilhas de 2mm fabricadas com 2 Layers com a placa contendo uma espessura de 1.6mm e peso de cobre de 1oz. O projeto em 2D e 3D da placa pode ser visto na figura 84

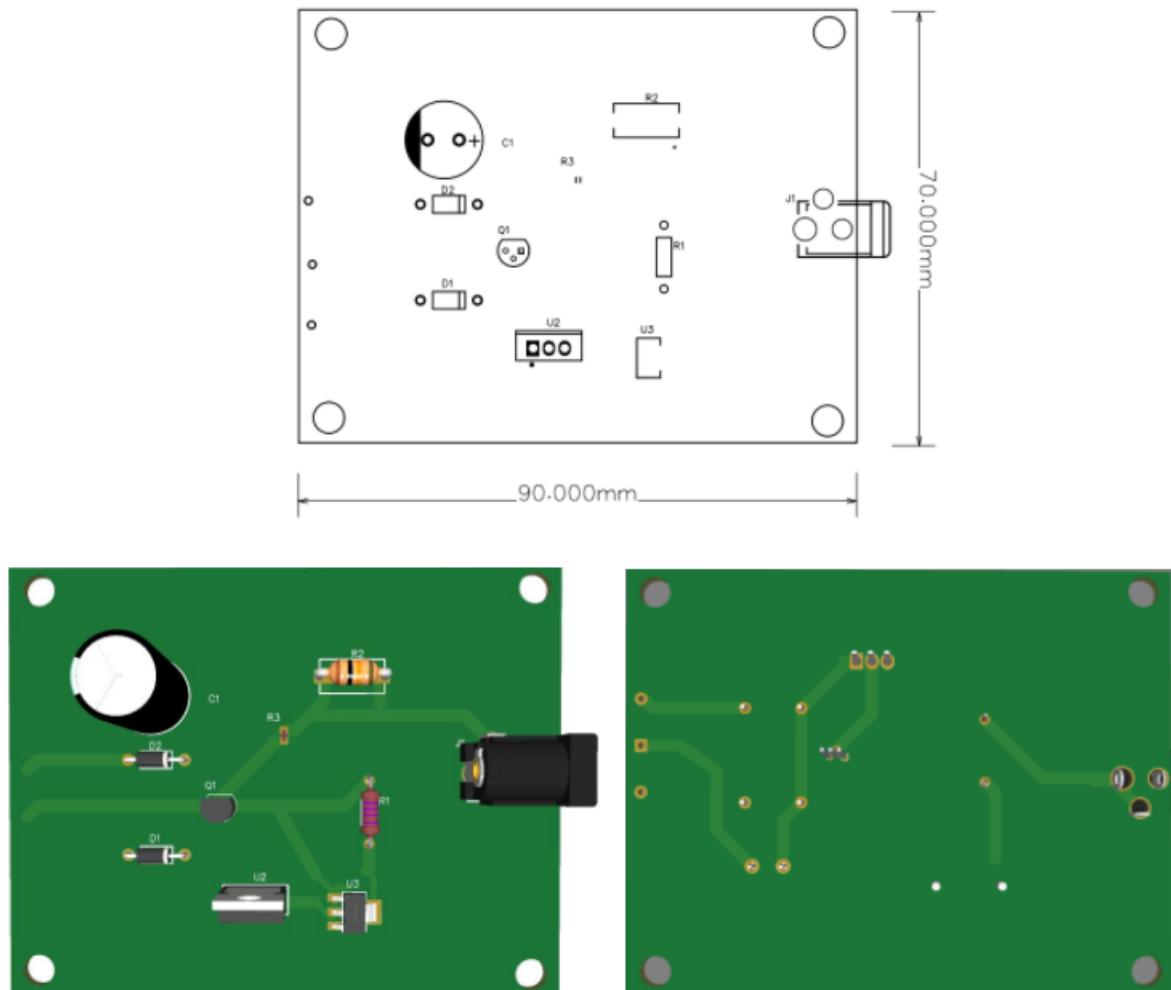


Figura 84 – Projeto 2D e 3D da PCI do carregador.

Para a confecção da placa de circuito impresso foi gerado o arquivo Gerber de cada placa de circuito impresso, sendo gerado um arquivo em formato ZIP disponível em [Arquivos Gerber](#). Para a visualização dos arquivos Gerber é necessário a utilização de um programa de prototipagem de placas de circuito impresso ou um visualizador desse tipo de arquivo disponível para [download](#) no site do programa utilizado para o projeto EasyEda.

Depois de desenhada a PCI do carregador é possível projetar a fonte de carregamento com todos os seus dispositivos, a tomada de força que receberá o cabo ligado na rede elétrica, a chave seletora de tensão, o transformador bivolt, a PCI e o conector

jack que será usado para conectar a fonte á maleta de controle ou base de lançamento. O projeto em CAD do carregador é apresentado na seção 6.5.1, figura 92, figura 93 e figura 94.

5.7 Dimensionamento dos condutores

Para questões de dimensionamento dos condutores, o projeto será separado em três partes: carregador, maleta e base. Para determinar o diâmetro da seção transversal dos condutores utilizados no projeto, foi usada a norma NBR 5410/2004 (ABNT, 2004). Segundo a norma, é preciso levar em conta dois parâmetros para decidir o diâmetro dos condutores: seção mínima de acordo com o método de instalação e capacidade de condução de corrente. A seção final dos condutores é dada pela maior seção entre os dois parâmetros encontrados.

O primeiro parâmetro é obtido por meio de uma análise das condições apresentadas pela norma, de acordo com o tipo de linha e utilização do circuito. No nosso caso, serão utilizados fios de cobre. Na tabela 47 da norma, são mostrados valores mínimos para a seção, a depender da utilização do circuito. De lá, foram tirados os seguintes dados:

- Circuito carregador - Tipo: Circuitos de força - Seção mínima: $2,50 \text{ mm}^2$;
- Circuito maleta - Tipo: Linhas flexíveis para qualquer outra aplicação - Seção mínima: $0,75 \text{ mm}^2$
- Circuito base - Tipo: Linhas flexíveis para qualquer outra aplicação - Seção mínima: $0,75 \text{ mm}^2$

O segundo parâmetro leva em conta a corrente de projeto corrigida. Dessa forma, para cada parte do sistema geral, ter-se-á uma seção específica de condutor, uma vez que cada ramo apresenta uma potência diferente. A corrente de projeto corrigida é calculada segundo a equação abaixo:

$$I_c = \frac{P}{V \times f_p \times FCA \times FCT} \quad (5.16)$$

Onde:

- I_c corrente de projeto corrigida;
- P potência requerida;
- V Tensão requerida;

- f_p fator de potência;
- FCA fator de correção de agrupamento;
- FCT fator de correção de temperatura.

Os fatores de correção a serem adotados para a determinação da corrente demandada em cada seção do circuito foram:

- Considerando que o lançamento acontece durante o dia em locais abertos, será considerada para a maleta e a base uma temperatura de 40°C, um pouco mais alta que a ambiente, para segurança do projeto. De acordo com a tabela 40 da norma esta temperatura retorna um valor de $FCT = 0,91$;
- Será desconsiderado o agrupamento dos circuitos, levando o fator de correção por agrupamento a um valor unitário;
- Será considerado um fator de potência unitário.

Para cada parte do projeto, a corrente corrigida será:

5.7.1 Circuito carregador

Para o fluxo rede elétrica - fonte:

$$I_c = \frac{1927,65W}{220V \times 1 \times 1 \times 1} = 8,76A \quad (5.17)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é $0,50mm^2$

Para o fluxo fonte - bateria:

$$I_c = \frac{60W}{30V \times 1 \times 1 \times 1} = 2,00A \quad (5.18)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é $0,50mm^2$

5.7.2 Circuito maleta

$$I_c = \frac{97W}{12V \times 1 \times 1 \times 0,91} = 8,88A \quad (5.19)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é $0,50mm^2$

5.7.3 Circuito base

$$I_c = \frac{113,86W}{12V \times 1 \times 1 \times 0,91} = 10,42A \quad (5.20)$$

Pela NBR 5410 tabela 37 a seção adequada é $0,75mm^2$

Após comparar os valores calculados com os do parâmetro de seção mínima baseados na norma, é mostrado na tabela 4 a seção final dos condutores em cada uma das partes.

Círcuito	Seção dos condutores (mm^2)
Carregador	2,50
Maleta	0,75
Base	0,75

Tabela 4 – Dimensionamento dos condutores do projeto.

6 Estrutura

Baseado nos requisitos estruturais apresentados no PC01 e atualizados na tabela 5, a solução de estrutura e abastecimento foi desenvolvida.

Requisito	Descrição
RFEST01	Ser de uso intuitivo para o usuário.
RFEST02	Estruturas físicas compactas e portáteis que deem suporte aos componentes internos e externos a estação.
RFEST03	O material deve ser leve e resistente, capaz de proteger os componentes de eventuais impactos e intempéries provenientes do ambiente e de seu deslocamento.
RFEST04	Ter uma estrutura para o usuário e uma outra voltada para o armazenamento do sistema de abastecimento.
RFEST05	Ter um sistema de transmissão de torque do atuador(motor) para as válvulas-esferas do abastecimento.
RFEST06	Não gerar interferência no sistema eletrônico.
RFEST07	Estrutura interna montável e desmontável, além de ser de fácil manutenção.
RFEST08	Sistema de abastecimento baseado nos componentes definidos pelo cliente.

Tabela 5 – Requisitos de Estrutura

O RGS necessita que todo o produto seja portátil e suficiente para configurar e apoiar as missões de foguetes da CTR. Assim, durante sua concepção estrutural, o principal foco da equipe foi a mobilidade e a robustez para adequação às condições ambientais encontradas nos potenciais locais de lançamento e teste de foguetes. Por isso nossa solução estrutural deve ser equipada com todos os instrumentos necessários para o suporte eletrônico e de software responsáveis por rastrear e comandar o foguete durante o lançamento.

Dessa forma, nossa solução se divide em três frentes principais. A primeira é a maleta de usuário, onde ficarão os componentes eletrônicos e a interface de usuário de software (6.3). Depois tem-se a maleta de suporte, responsável por abrigar os componentes para o abastecimento e a ignição do foguete à distância (6.4). E, por fim, no próximo capítulo (7) é apresentado a descrição do sistema de abastecimento, com seus componentes em uso integrados até a entrada do foguete. Na figura 85 pode-se ver como o trabalho estrutural e de abastecimento foi abordado.

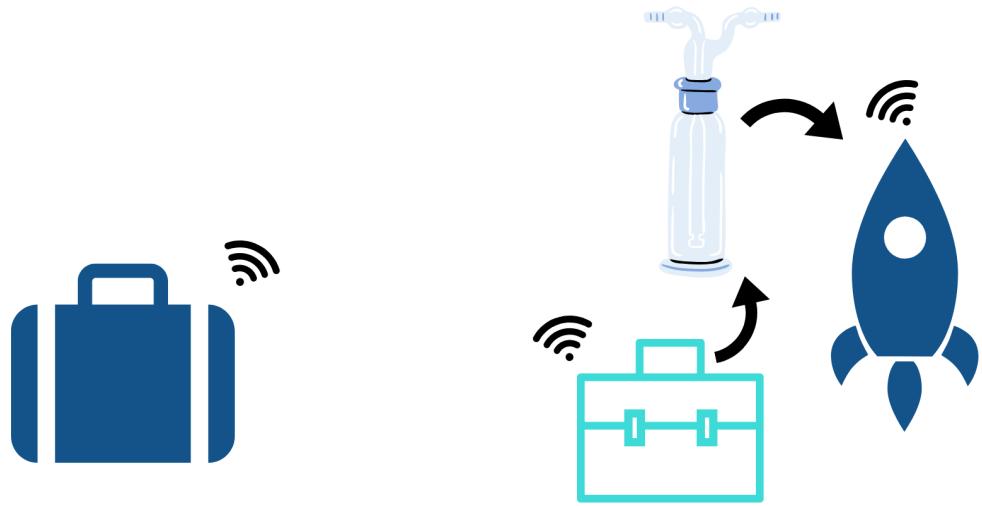


Figura 85 – Solução estrutural e de abastecimento

6.1 Mudanças

A solução estrutural inicial era de desenvolver apenas uma estrutura em formato de maleta, visando que ela fosse o bastante para o uso e carregamento de toda a solução. Porém, depois foi visto que a solução proposta demandaria do cliente o uso de um cabo de energia, muito superior aos comerciais, se tornando um empecilho para a usabilidade do produto. Além de que um cabo elétrico de grandes dimensões possui perda ao longo de sua transmissão, assim foi optado por desenvolver uma solução totalmente segura e sem fios para o conjunto de controle e de abastecimento.

Fazendo-se então necessária a construção de uma segunda estrutura para comportar e transportar os elementos de abastecimento de modo que esse fique perto da base de lançamento, enquanto a outra estrutura fica em uma distância segura com o usuário.

Além disto foi-se percebido a necessidade do desenvolvimento de duas cases, uma para comportar o sistema de carregamento das baterias, ou seja, uma estrutura em forma de carregador. Enquanto que a outra destinasse para proteger o sistema eletrônico presente na base de lançamento do foguete.

As mudanças visuais mais perceptíveis bem como a evolução do projeto ao longo dos PC's pode ser vista na figura 86

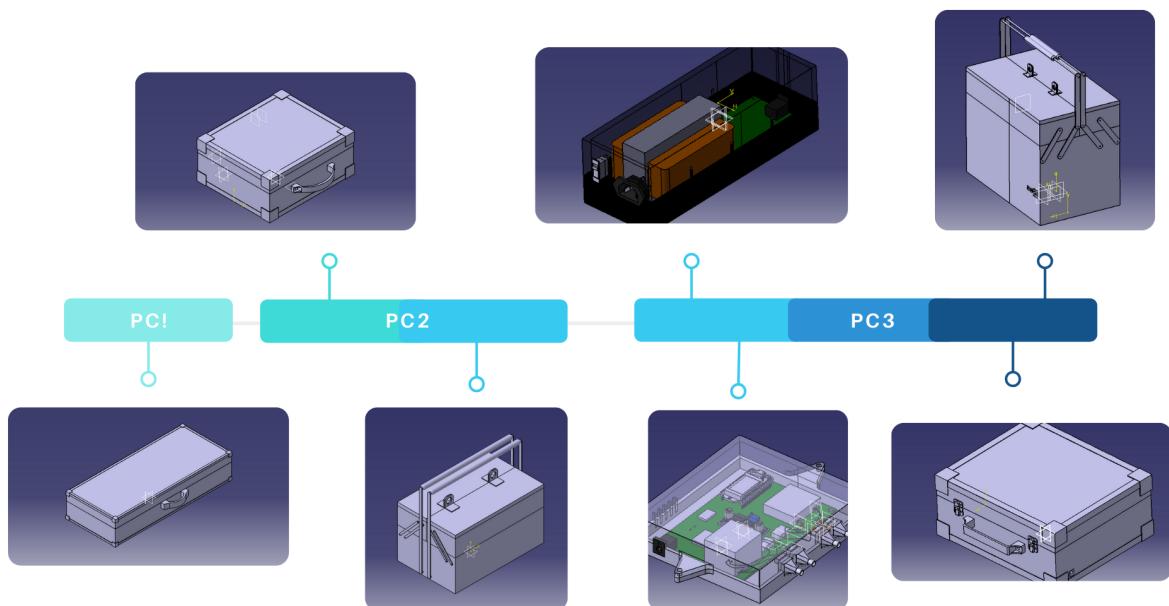


Figura 86 – Evolução da solução

Vale-se ressaltar que todas as estruturas aqui apresentadas, foram dimensionadas baseado nos componentes internos que cada uma deverá comportar, bem como para a melhor distribuição e acomodação destes. Além de ter um design condizente com o produto proposto.

6.2 Especificações de materiais

Durante a seleção de materiais, é necessária uma sistematização que permita analisar a vasta possibilidade de combinação de materiais que podem constituir determinado produto a fim de extrair um candidato vencedor, que cumpra com maior eficiência possível os requisitos da aplicação (WALTER, 2006).

6.2.1 Materiais estruturais

Antes de apresentar a lista em si, é necessário evidenciar as características desejáveis para as estruturas que serão utilizadas na solução. Durante a etapa de escolha do material a ser utilizado, nem sempre é possível contemplar satisfatoriamente todos os aspectos necessários para aquela determinada finalidade. Por isso, tais aspectos são dispostos em ordem de relevância para o projeto, para que a escolha do material seja feita com embasamento teórico dentro da necessidade real do protótipo.

1. O fator mais relevante para a caixa da *ground station* é o correto funcionamento no local de lançamento. A caixa deve estabelecer, por meio de ondas eletromagnéticas, comunicação mútua com o foguete e com o sistema de abastecimento de propelente durante todas as etapas de lançamento. Portanto, o material escolhido **não deve gerar interferência** nos sistemas de comunicação.
2. A usabilidade e a ergonomia vem a seguir, responsáveis por garantir que o usuário consiga ler, de forma clara e precisa, todos os parâmetros relevantes para a missão e que o auxiliará na tomada de decisão. Assim, **o material utilizado deve ser moldável** para que embarque os componentes necessários e os disponha de maneira adequada, respeitando as suas diferentes geometrias.
3. O **custo** é o terceiro fator mais relevante, uma vez que a viabilidade de fabricação do protótipo está diretamente relacionada com seu valor final. Além do material ser acessível do ponto de vista financeiro, é desejável que ele permita agilidade em sua construção, dado que um material difícil de ser trabalhado pode gerar mais horas de trabalho, o que resulta no aumento do valor total da mão-de-obra e, por consequência, aumento do valor final do protótipo.
4. Como quarta prioridade, a caixa deve ser resistente de maneira que eventuais quedas ou impactos com outros objetos não venha a interferir o seu correto funcionamento. Materiais com boa **resistência mecânica** podem contemplar tal característica.
5. Por fim, a portabilidade se faz necessária devida à utilização da caixa ocorrer em lugares de acesso restrito. Logo, a caixa deve ser **leve e compacta** para facilitar o seu transporte.

Além dos aspectos levantados para a construção das maletas, um outro ponto ainda deve ser abordado nesse estudo dos materiais, que é a seleção do material para as cases de eletrônica e de energia. Essas tem como prioridades principais, os mesmos pontos abordados para as maletas porém com mudanças na ordem de prioridade, onde: a) não deve gerar interferência; b) o material utilizado deve ser moldável; c) leve e compacta; d) resistência mecânica; e) custo.

Visto os aspectos desejáveis, é apresentado a seguir o estudo de possíveis materiais a serem utilizados no protótipo, bem como a escolha final de uso. Ressaltando-se que dada as mudanças na ordem de prioridades o material a ser selecionado para as maletas irá divergir do material das cases.

6.2.1.1 *Medium Density Fiberboard - MDF*

O MDF é um material fabricado a partir da aglutinação de fibras de madeira com resina sintética – sendo as mais utilizadas à base de ureia formaldeído, tanino formaldeído

e melamina ureia formaldeído – posteriormente submetidas à prensagem em altas temperaturas (GOMES et al., 2017). Por serem totalmente homogêneos as placas de MDF não apresentam nódulos em seu interior, o que permite que sejam feitos cortes em todas as direções, facilitando a moldagem da peça, além disso por essa sua composição ele permite que as ondas eletromagnéticas possam fluir através dela.

É um material, leve, resistente, fácil de manusear e transportar mas que requer alguns cuidados, como colocar muito peso sobre ele (para isso deve-se considerar a espessura da placa), arrastar objetos sobre ele e o contato com a água, pois apesar de serem resistentes a umidade, não toleram o contato direto com a água. (VIEIRA, 2016)

Sua superfície é plana e lisa, oferece alta usinabilidade para encaixar, entalhar, cortar, parafusar, perfurar e moldurar, além de reduzir o uso de tintas, vernizes e ótima aceitação de revestimentos (CAMPOS; LAHR, 2002). Assim por possuir boa trabalhabilidade, o processo de construção pode apresentar satisfação rápida. (ELEOTÉRIO; FILHO; JÚNIOR, 2000)

O custo varia de acordo com a espessura da chapa, por isso alguns valores são como o do metro quadrado de uma chapa de 3 mm que é aproximadamente R\$37,00. Porém já uma chapa de 15 mm custa em média R\$63,00 o metro quadrado. (MERLIN, 2020)

As características mecânicas específicas do material variam de acordo com o tipo de fibra e resina utilizadas. Em geral, são vantagens do MDF a alta relação entre resistência mecânica e massa específica, homogeneidade e ausência de defeitos como nós e desvios de grão (ELEOTÉRIO; FILHO; JÚNIOR, 2000).

De acordo com Silva e Gonçalves (SILVA; GONÇALVES, 2007), os MDF são projetados para serem fabricados com densidades entre 0,5 e 0,8 g/cm³.

Na tabela 6 é apresentado algumas das principais propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF confeccionados com madeira de *Eucalyptus grandis*. (MADEIRA, 2010)

Densidade	0,695 g/cm ³
Módulo de elasticidade	3776 MPa
Módulo de ruptura	36,1 MPa
Resistência a tração	1,01 MPa

Tabela 6 – Propriedades do MDF

6.2.1.2 Polímero Reforçado com Fibra de Vidro - PRFV

É um material composto por uma matriz de resina sintética termofixa, como a Resina Epóxi, reforçada com estreitos filamentos flexíveis de vidro, cujo principal cons-

tituinte é a sílica (PIERIN et al., 2005). Dessa forma o PRFV não gera interferência na comunicação com os sistemas.

Possui razoável manuseabilidade, pode ser cortado, perfurado e moldado, porém caso a caixa seja composta por várias peças o encaixe entre elas pode dificultar o processo de montagem.

O processo de fabricação é lento pois é necessária a fabricação do PRFV em si, ou seja, não é vendido o PRFV pronto para uso e sim os filamentos de vidro e a resina. Além disso, o PRFV deve ser confeccionado em um molde que deve ser previamente fabricado com o formato da peça final. O custo de material suficiente para produzir um metro quadrado de PRFV é de R\$53,00.

De acordo com Lin et al (1996), conforme citado por Pierin, os PRFV exibem alta resistência mecânica, porém problemas de deformabilidade e instabilidade, devido à sua baixa elasticidade e rigidez, são os maiores inconvenientes deste material. (PIERIN et al., 2005)

De acordo com CALLISTER, a densidade do PRFV varia entre $1,5 \text{ g/cm}^3$ podendo chegar até próximo de 3 g/cm^3 dependendo dos materiais utilizados. (CALLISTER, 2000)

6.2.1.3 Polímero Reforçado com Fibra de Carbono - PRFC

Similar ao PRFV, o PRFC utiliza como reforço fibras compostas principalmente de carbono que resultam da pirólise de fibras plásticas, como a poliacrilonitrila (PAN).

O processo de fabricação do PRFC é análogo ao processo de fabricação do PRFV. O material para produzir um metro quadrado PRFC custa aproximadamente R\$335,00 (REDELEASE, 2020). Enquanto que a folha de fibra de carbono flexível de alta dureza sai a R\$65,00 o metro quadrado. (SHOPPING, 2020)

Segundo Galli as fibras de carbono são normalmente empregadas em aplicações que requerem elevadas propriedades mecânicas (alta resistência mecânica e alto módulo de elasticidade) associadas a uma baixa densidade. (GALLI, 2016)

Na tabela 7 é apresentado algumas das principais propriedades físicas e mecânicas do PRFC. (FELIPE, 2017) e (VANI et al.,)

Densidade	$1,78 \text{ g/cm}^3$
Módulo de elasticidade	380 MPa
Módulo de ruptura	$124,5 \text{ MPa}$
Resistência a tração	$102,9 \text{ MPa}$

Tabela 7 – Propriedades do PRFC

6.2.1.4 Poli Ácido Lático - PLA

O PLA é um polímero termoplástico feito através da extração do milho, trigo ou cana de açúcar passando por várias etapas de produção. Sua composição permite o correto funcionamento dos sistemas de comunicação.

O PLA é um material comumente usado em prototipagem rápida onde uma impressora 3D deposita o material partindo de dados provenientes de sistemas de desenho assistido por computador (CAD). Sua alta fluidez e baixa contração durante o processo de extrusão permite a produção de peças com alta precisão dimensional e bom acabamento superficial.

O filamento de PLA para impressão 3D tem valor médio de R\$120,00 o kg com a possibilidade e facilidade de poder encontrá-los em diversas cores ([CLIEVER, 2020b](#)). O valor de processamento do PLA para projetos com baixas unidades é muito elevado, tornando inviável seu processamento por injeção ou *vacuum forming* e impressão 3D.

De acordo com Simões, o PLA é um material rígido e resistente, difícil de deformar ou flexionar, possui alta dureza, que o torna com baixa resistência ao impacto. É um material indicado para produção de protótipos que não sejam submetidos às condições de altos esforços mecânicos, atritos ou altas temperaturas.c([SIMÕES; VIANA; CUNHA, 2009](#))

Na tabela 8 é apresentado algumas das principais propriedades físicas e mecânicas do PLA. ([SANTANA et al., 2018](#))

Densidade	$1,24 \text{ g/cm}^3$
Módulo de elasticidade	2690 MPa
Módulo de ruptura	$53,32 \text{ MPa}$
Resistência a tração	$50,0 \text{ MPa}$

Tabela 8 – Propriedades do PLA

6.2.1.5 Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS

Para Vossen, o ABS é um termoplástico que consiste em uma fase de borracha (butadieno) dispersa em uma matriz de SAN (copolímero de acrilonitrila Estireno), também denominado terpolímero. ([VOSSEN, 2009](#))

A acrilonitrila confere estabilidade ao calor e resistência química e à flexão; o butadieno é responsável pela resistência ao impacto e tenacidade; já o estireno por sua vez é responsável pelo brilho, rigidez e fácil processamento. Devido à suas propriedade e baixo custo o ABS se tornou um material bastante utilizado por várias indústrias. O ABS pode ser Processado por injeção, extrusão e sopro.

O valor do ABS depende da forma em que você o deseja, o kg do ABS granulado custa em média R\$ 16,80 já o kg do filamento de ABS para impressão custa em media R\$80,00. O valor de processamento do ABS para projetos com baixas unidades é muito elevado, tornando inviável seu processamento por injeção ou *vacuum forming* e impressão 3D. ([CLIEVER, 2020a](#))

Assim as propriedades do ABS dependem do teor de cada componente, mas em geral o ABS apresenta boa resistência térmica e ao impacto, alta estabilidade dimensional, alta rigidez, alta dureza, baixa absorção de umidade, etc. ([JÚNIOR; JÚNIOR; HEMKEMEIER, 2014](#))

Na tabela 9 é apresentado algumas das principais propriedades físicas e mecânicas do PLA. ([3DLAB, 2020](#))

Densidade	1,05 g/cm ³
Módulo de elasticidade	1335,9 MPa
Módulo de ruptura	29,0 MPa
Resistência a tração	62,0 MPa

Tabela 9 – Propriedades do ABS

6.2.1.6 Resultado

A partir dos dados apresentados para os diferentes materiais, é possível chegar às seguintes conclusões: os materiais selecionados para o estudo são caracterizados por não gerarem interferência, aspecto imprescindível para o projeto.

Assim, o próximo aspecto a ser analisado é o usinabilidade e geometrias que o material pode assumir com poucos processos. Nesse quesito, os materiais com fibras se tornam menos atraentes por sua complexa usinabilidade. Já no quesito custo os materiais mais comerciais possuem melhor custo benefício como é o caso do MDF e dos filamentos de impressão.

Porém, as características mecânicas e físicas são o fator decisivo para a escolha do material, com a menor densidade entre os materiais selecionados e o maior módulo de elasticidade, o MDF, se saiu na frente nos dois últimos critérios analisados. Apesar da sua baixa resistência a tração, o fato de o sistema desenvolvido não estar sujeito a esse tipo de carga faz com que ele se torne ainda mais atrativo. Logo, o material escolhido para a confecção dos protótipos das maletas foi o **MDF 15mm**.

Walter sinaliza que a dinâmica de Seleção de Materiais e Processos de Fabricação devem ser flexíveis a ponto de permitir sua utilização em etapas desde o *Design Conceitual* ao Projeto para Manufatura ([WALTER, 2006](#)).

Tratando-se de um projeto de engenharia, foi definida a escolha de mais de um

material para a construção das estruturas principais, já que suas partes possuem funções diferentes. Assim a carcaça da caixa será feita em com um material de revestimento, apresentado na seção 6.2.2, o que permite um acabamento melhorado e uma proteção em caso de eventual contato com líquidos, uma fraqueza vista no MDF anteriormente.

Os componentes estruturais serão feitos em MDF de madeira de eucalipto, visto que a mesma segue o enquadramento para construção de painéis de uso estrutural determinado pela especificação NBR 15316-2 ([MADEIRA, 2010](#)). Assim combinando diferentes materiais, tem-se uma diminuição dos custos de produção, diminuição do peso e aumento das propriedades mecânicas se comparado aos polímeros.

Para as cases, visto que elas precisam ser mais compactas as opções 3D são mais atrativas, por causa da espessura e da sua usinabilidade acessível. Entre as opções apresentadas o com propriedades mecânicas mais condizentes com o projeto é o PLA. Por isso o material escolhido para as cases foi o **PLA**.

6.2.2 Material para revestimento da caixa

Para aumentar a resistência do material que forma as estruturas da estação de controle, recomenda-se o seu revestimento com material polimérico (i.e. borracha), de modo a aumentar sua resistência à abrasão, impacto, cortes e pressão. Em aplicações industriais, alguns desses polímeros são desenvolvidos para ser aplicados em condições extremas, a temperaturas muito altas ou em locais com presença de ácidos concentrados, o que foge do escopo do uso no projeto, de proteger a estação de intempéries ambientais e a choques mecânicos moderados, ou seja, queda de uma altura não superior a de uma pessoa carregando a maleta nas mãos: 1 a 1,5 m.

- **Borracha de Etileno Propileno Terpolímero - EPDM**

Material bastante usado para resistência térmica, mas também por sua dureza e por sua impermeabilidade à água. ([CTB, 2019b](#))

- **Borracha de Estireno Butadieno - SBR**

Boa resistência à abrasão e resistência moderada a agentes atmosféricos (luz solar, oxigênio). Baixa resistência a ácidos fortes, solventes e a altas temperaturas (acima de 85°C), o que extrapola a usabilidade esperada do material. ([CTB, 2019a](#))

- **Borracha de Poliisopreno - IR**

Propriedades muito próximas a da borracha natural. Grande resistência a abrasão, rasgo, mas baixa resistência a agentes atmosféricos (luz solar, oxigênio), que afetam seu envelhecimento. ([CTB, 2019c](#))

Propriedade	EPDM	SBR	IR
Dureza Shore A	40-90	30-95	15-100
Tensão de Rotura (MPa)	7-18	7-21	15-25
Resistência elétrica (ohms/cm ²)	2×10^{16}	10^{15}	10^{15}
Limites de temperatura (°C)	-55 a 130	-45 a 85	-50 a 80
Preço (R\$/m ²)	140,00	80,00	100,00

Tabela 10 – Propriedades material de revestimento

A partir dos dados apresentados na tabela 10 é possível ver que o material para revestimento com o melhor custo benefício é o **SBR**, assim esse se torna o material escolhido para o revestimento.

6.3 Maleta 01 - GCS

A maleta GCS é responsável por enviar o sinal de lançamento do foguete e colher os dados de telemetria deste. Dessa forma, ela tem que armazenar alguns componentes essenciais para que consiga realizar essa função e o usuário consiga analisar e colher os dados obtidos. Para armazenar todos esses componentes, foi pensado em uma maleta com *design* mais robusto, porém, compacta. Suas especificações podem ser verificadas no Apêndice K.

Como pode ser observado nas figuras 87 e 88, em sua base ficarão armazenados os componentes eletrônicos e de energia, tais como fontes, baterias e reguladores. Ainda em sua base, para proteger os componentes eletrônicos e o usuário tem-se um fundo falso que serve como meio de acesso aos componentes eletrônicos para manutenções e serve também de nicho para o teclado. Já em sua parte superior, a maleta conta com um outro fundo falso que permite acesso à tela de 9" e à base da antena.

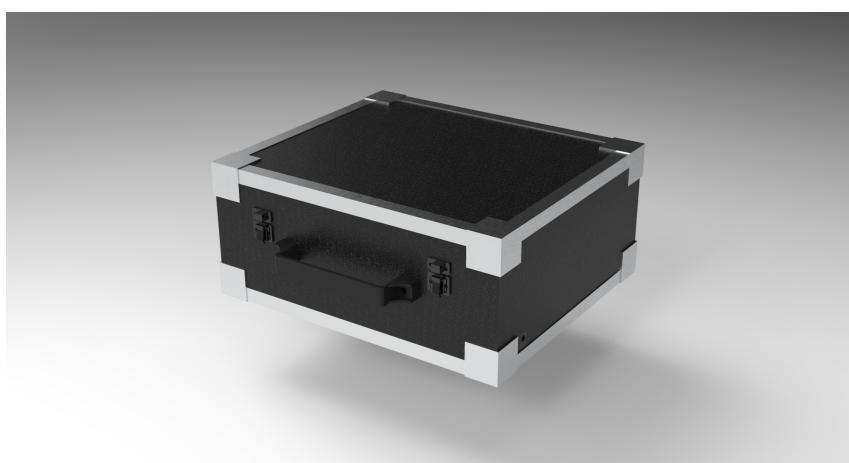


Figura 87 – Maleta 01 - GCS Fechada

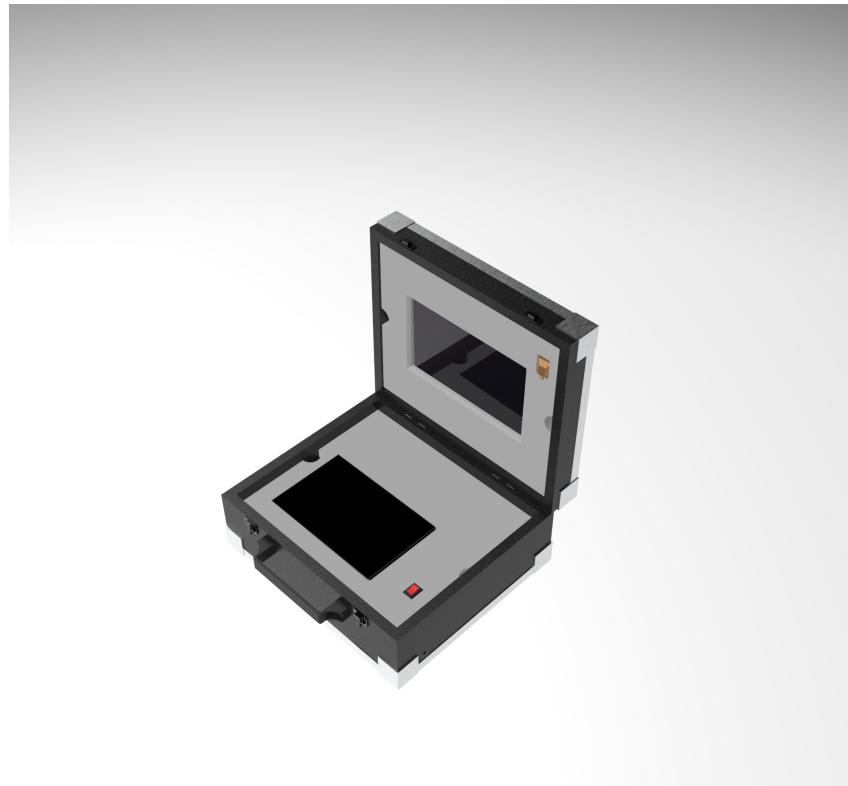


Figura 88 – Maleta 01 - GCS Aberta

A disposição dos equipamentos eletrônicos, bem como o interior da base da GCS, podem ser observados na figura 89. Já o peso da maleta GCS será de aproximadamente 5 kg, essa estimativa foi realizada utilizando a ferramenta *Measure Inertia* do software CATIA.

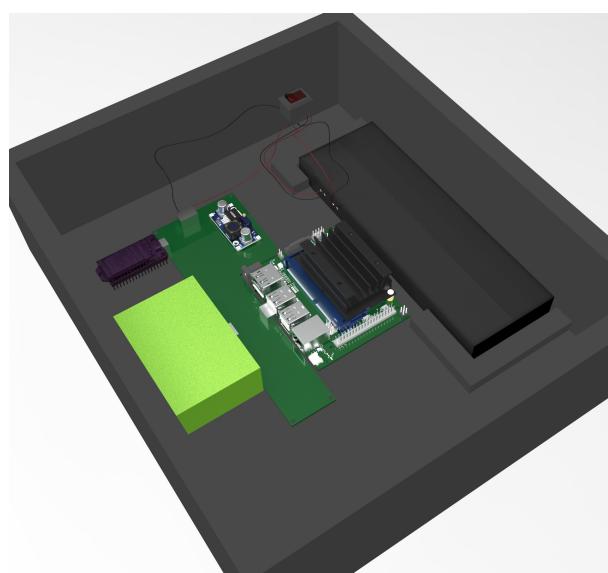


Figura 89 – Disposição dos equipamentos eletrônicos

6.4 Maleta 02 - Abastecimento

A maleta de abastecimento tem como função transportar os atuadores, as válvulas, a mangueira de abastecimento e a bateria que proporcionará a energia necessária para o acionamento dos mesmos. Dessa forma, a maleta teve seu design inspirado em uma caixa de ferramentas.

A maleta possuirá dois níveis. A base irá acomodar a mangueira e a bateria, fazendo que este seja o espaço com maior área útil na maleta. Já o nível superior é composto por duas áreas de armazenamento simétricas, com o objetivo de acomodar os adaptadores motor-válvula. A distribuição da maleta pode ser observada nas figuras 90 e 91. É possível observar as especificações para a produção da maleta no Apêndice K.

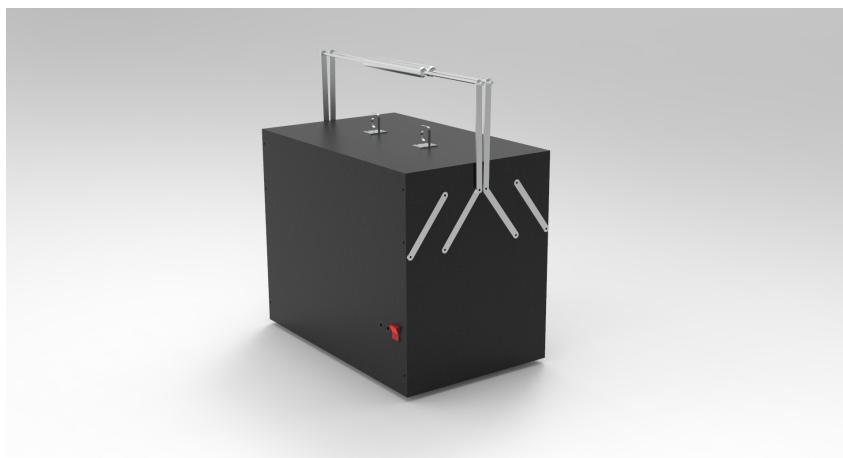


Figura 90 – Maleta 02 - Abastecimento Fechada

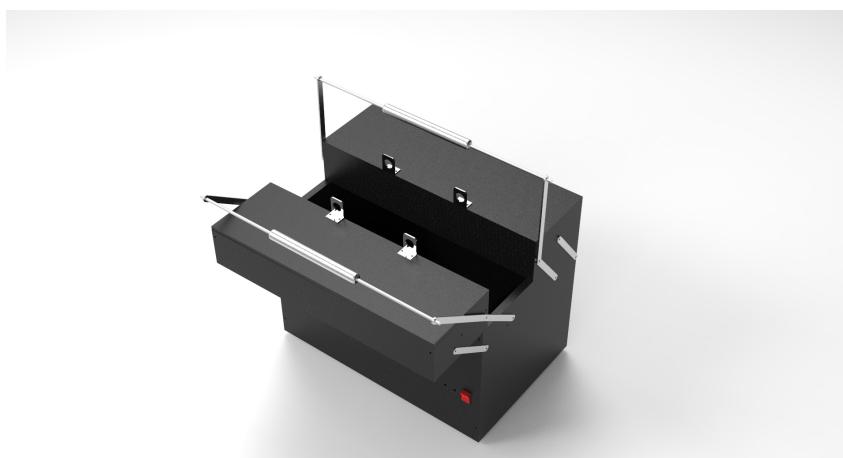


Figura 91 – Maleta 02 - Abastecimento Aberta

O peso estimado para a maleta de abastecimento foi de aproximadamente 10 kg. O peso desta maleta foi estimado por meio da ferramenta *Measure Inertia* do software CATIA.

6.5 Cases

6.5.1 Carregador

A estrutura do carregador foi desenvolvida para comportar a PCI desenvolvida pelo grupo de energia na seção 5.6.2, e os outros componentes pertinentes ao sistema, como condutores e interruptor.

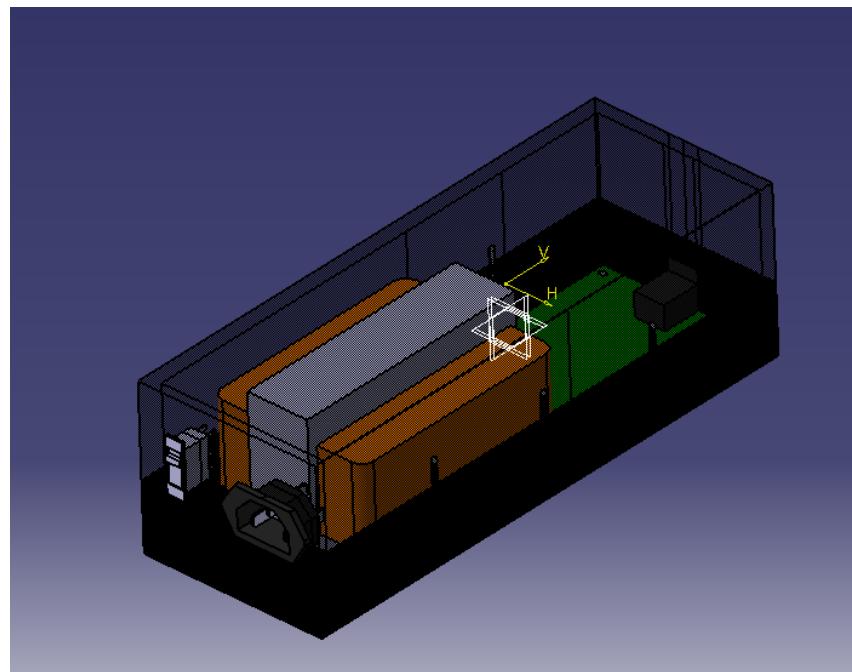


Figura 92 – Vista Isométrica do Carregador

Na figura 92 é possível vê a vista isométrica do sistema de carregamento, como produto final. Já na figura 93 é visto como fica a distribuição dos componentes dentro da case.

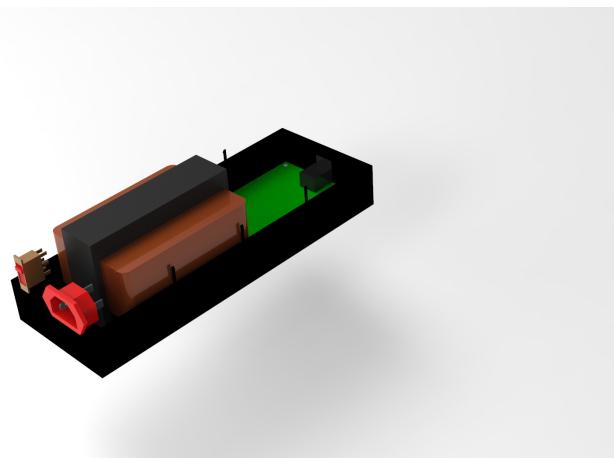


Figura 93 – Distribuição do Carregador

E por fim na figura 94 é apresentado como ficou o projeto final do sistema com o carregador aberto onde é possível vê os encaixes de fechamento da case.

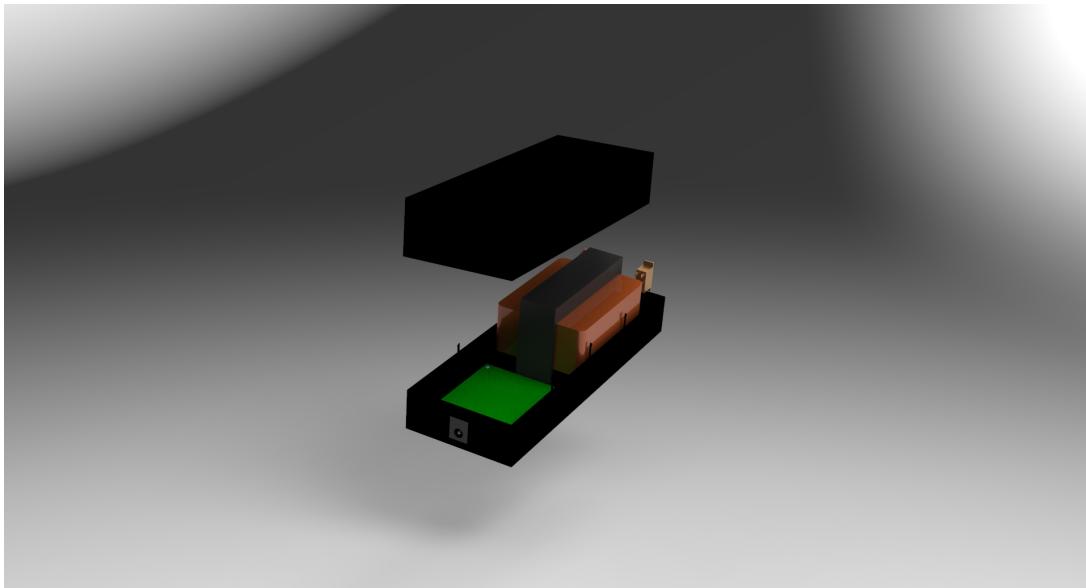


Figura 94 – Carregador Aberto

6.5.2 Case base de lançamento

Já a segunda case desenvolvida, foca na PCI desenvolvida pelo grupo de eletrônica na seção 4.7.2, onde um sistema eletrônico é instalado de forma a dá suporte ao sensor de carga utilizado pelo cliente. Dá mesma forma que na case do carregador, aqui são apresentadas nas figuras 95, 96 e 97, imagens análogas ao do carregador para a case da base de lançamento.

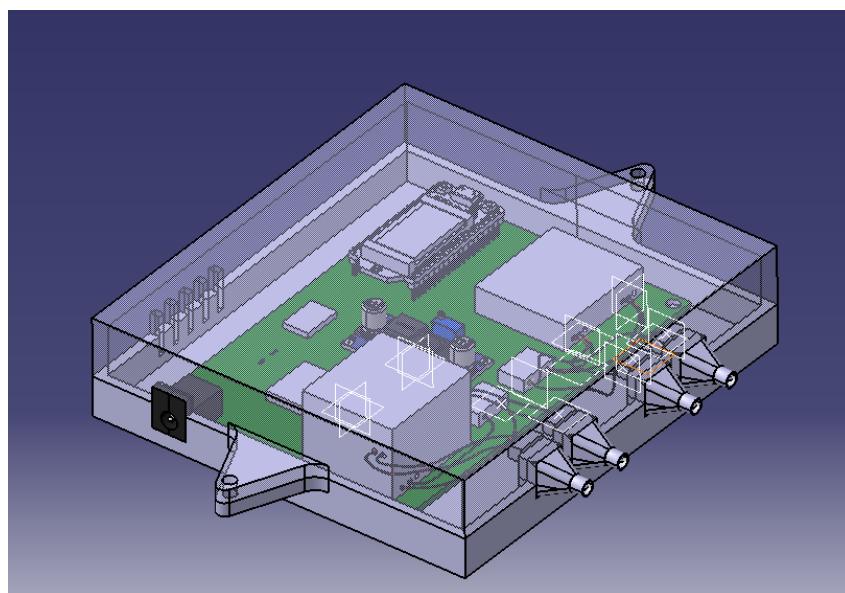


Figura 95 – Vista Isométrica da Case

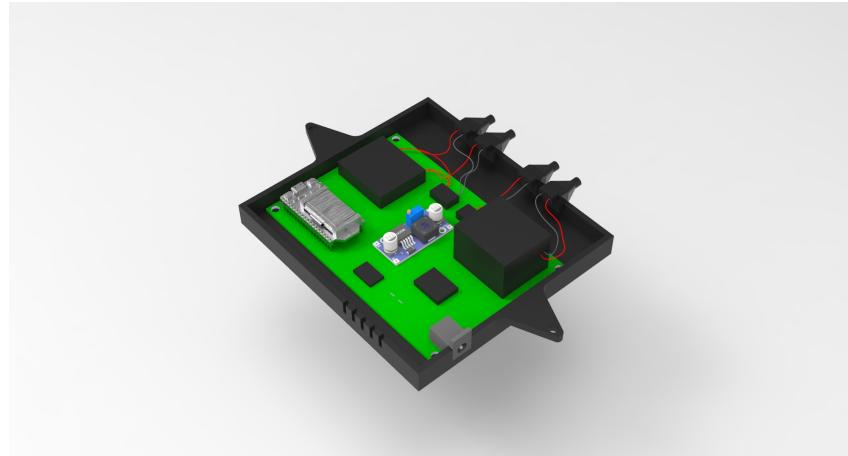


Figura 96 – Distribuição dentro da estrutura

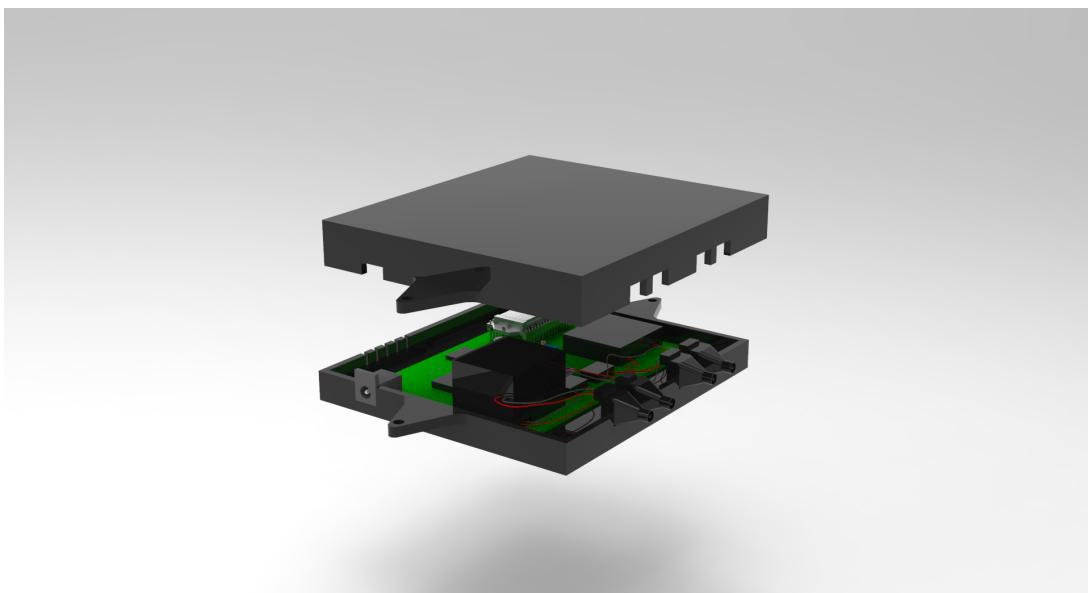


Figura 97 – Case aberta

6.6 Simulações de Impacto

6.6.1 Razões para a simulação

Inicialmente, era planejado pela equipe realizar uma simulação numérica, utilizando o *software* Ansys, dos efeitos que esforços mecânicos possam gerar na estrutura das maletas, em particular a deformação que estas poderiam sofrer. No entanto, conforme orientado pelos professores durante a apresentação do Ponto de Controle 1, essas estruturas não vão receber carga durante seu funcionamento, exceto àquela exercida pelos pelo próprio peso das maletas. Logo, foi avaliado que esse tipo de simulação não traria resultados relevantes. Em lugar dessa simulação, foi sugerido então que se realizasse uma simulação numérica de impacto.

De fato, ao se pensar no uso recorrente de ambas as maletas, no qual ambas serão constantemente transportadas de um local ao outro, principalmente durante as preparações do lançamento, o esforço mecânico relevante que realmente tem mais chance de ocorrer é uma queda, a uma altura estimada de 1 metro, 1 metro e meio, caso esses sistemas estejam sendo usados de maneira correta (sendo transportado por uma pessoa na altura de suas mãos ou em repouso sobre uma mesa, no caso da maleta de controle). Desse modo, foi pensada uma situação hipotética em que ambas as maletas sofrem queda livre a uma altura de 1m em diversas posições de impacto. A simulação tem por finalidade verificar os efeitos dessa queda.

6.6.2 Preparação do modelo de simulação

Para a realização dessa simulação, optou-se por desenvolver uma versão simplificada do CAD, baseado nas dimensões em cada uma das maletas e não considerando detalhes internos, como componentes eletrônicos, alças, dobradiças ou outras peças metálicas. Desse modo, foram desenvolvidos dois modelos de caixa oca, cada qual com as dimensões das maletas, com 15mm de espessura, de acordo com o tipo de chapa de MDF que fora escolhida para o projeto. A essas duas caixas, foi atribuído um material denominado "MDF", que fora adicionado à biblioteca do Ansys com base nas características mecânicas abaixo descritas.

Além desses modelos de caixa, foram desenvolvidos modelos de manta de SBR de 3 milímetros de espessura que envolvessem completamente ambas as caixas, de modo a realizar dois tipos de simulação: uma com as maletas sem revestimento e outra com a proteção do SBR. Da mesma forma que o MDF, foi criado um material intitulado "SBR" na biblioteca do Ansys, com base nas seguintes características ([MATERIALS, 2020](#)) ([MAKEITFROM.COM, 2020](#)):

- MDF
 - Densidade: 750kg/m^3
 - Módulo de Elasticidade: 4GPa
 - Razão de Poisson: 0, 25
 - Módulo de Cisalhamento: $1,6\text{GPa}$
- SBR
 - Densidade: 940Kg/m^3
 - Módulo de Elasticidade: 6MPa
 - Razão de Poisson: 0, 48
 - Módulo de Cisalhamento: $2,03\text{MPa}$

Por fim, foi elaborado um último modelo, representando o solo durante a queda, que consiste em um bloco 1000mm x 1000mm x 200mm, atribuindo-se o material concreto a partir da própria biblioteca de materiais do Ansys.

Para cada uma das duas maletas (com e sem revestimento), foram simuladas três situações de queda: queda direta, quando a maleta com a face inferior; queda lateral, quando a maleta cai com a face lateral voltada para baixo; e queda inclinada, quando a maleta cai "de quina", com inclinação de 45° nos eixos X e Z. Foram colhidos os resultados da tensão normal no sentido do eixo Y, da tensão de cisalhamento no plano XZ e da deformação.

6.6.3 Detalhes da Malha

Fora utilizada a ferramenta padrão do Ansys para geração da malha, cujos elementos tetraédricos tiveram o tamanho de 0,015m. Tentativas de refinamento da malha, com aumento da discretização (i.e. redução do tamanho dos elementos), resultaram em erros no programa, resultantes da falta de capacidade computacional da máquina utilizada. Optou-se, então, por manter a malha inicialmente gerada.

Abaixo, encontra-se uma tabela com o número de elementos e o número de nós para cada caso de simulação (maleta de controle, maleta de alimentação, com e sem revestimento).

Simulação	Elementos	Nós
Controle sem revestimento	8361	13266
Controle com revestimento	10545	18010
Alimentação sem revestimento	7341	11984
Alimentação com revestimento	9555	17428

Tabela 11 – Número de elementos e nós da simulação

Abaixo, vemos os detalhes da malha dos modelos de ambas as maletas nas Figuras 98 e 99, a primeira sem revestimento, a segunda com o revestimento de SBR.

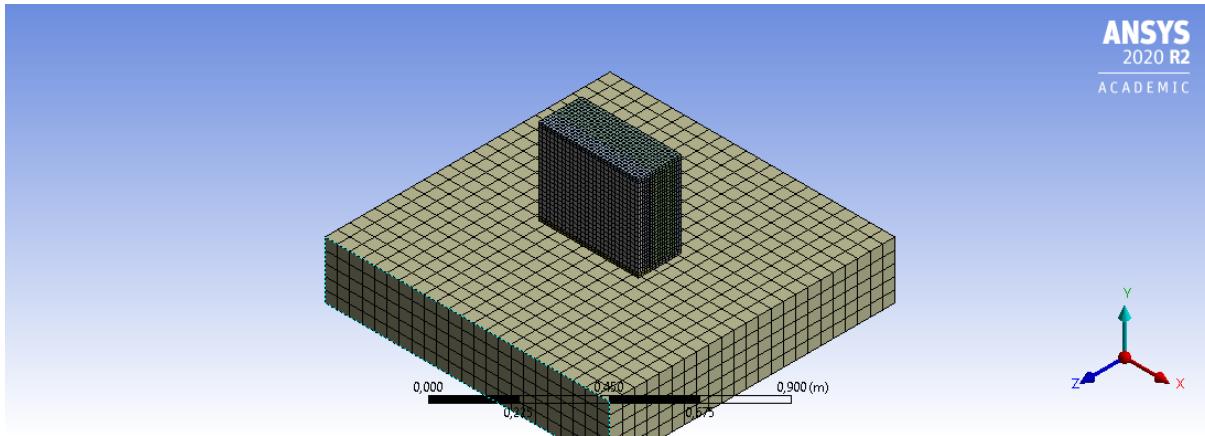


Figura 98 – Malha da maleta da estação de controle

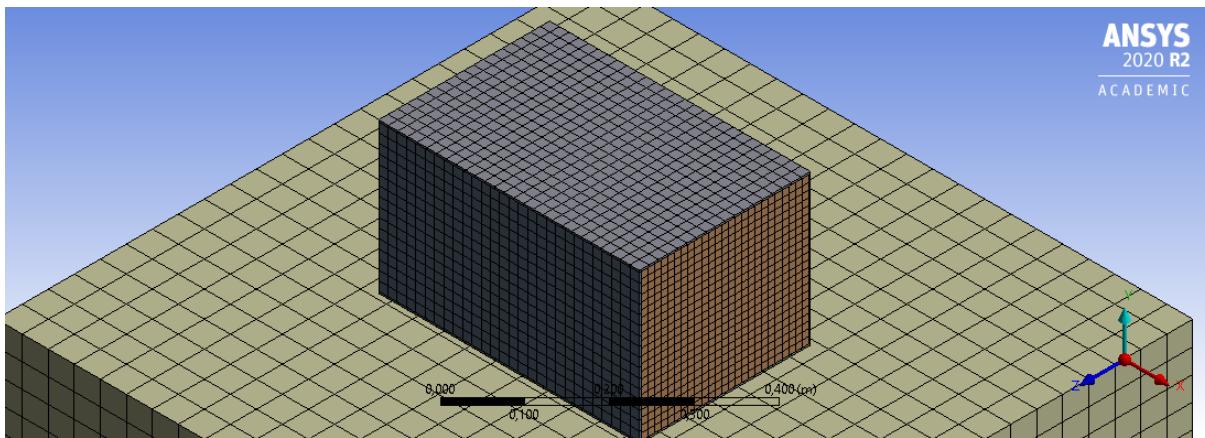


Figura 99 – Malha da maleta do sistema de alimentação com revestimento

6.6.4 Condições iniciais

Para a realização dessa simulação, foi considerada uma situação em que ambos os objetos atingem o solo a partir de uma condição inicial de repouso ($v_0 = 0$), em queda livre por uma altura $h = 1m$, sofrendo aceleração gravitacional constante de $g = 9,81m/s^2$. Utilizando-se da equação de Torricelli (FREEDMAN, 2008):

$$v^2 = v_0^2 + 2gh \quad (6.1)$$

chegamos à velocidade a qual o objeto chega ao tocar o solo ($v = 4,4229m/s$), velocidade esta que servirá de *input* para a simulação.

Além disso, o corpo que representa o chão foi estabelecido como suporte fixo.

6.6.4.1 Resultados e discussões

As simulações geraram os seguintes resultados: tensão normal no eixo vertical (Y), tensão de cisalhamento no plano horizontal (XZ) e deformação. As imagens da distribuição das tensões, bem como a deformação, sobre o corpo do modelo em cada uma das simulações encontram-se no Apêndice L. Abaixo, na Figura 100, encontram-se os valores máximos e mínimos das tensões em cada um dos casos definidos para análise numérica.

Tipo de Maleta	Tipo de Tensão	Tipo de Queda	Tensão Máxima (MPa)		Tensão Mínima (MPa)	
			Sem Revestimento	Com Revestimento	Sem Revestimento	Com Revestimento
Maleta de Alimentação	Tensão Normal (σ_y)	Queda Direta	0,6	0,03	-9,34	-8,03
		Queda Lateral	0,37	2,06	-9,4	-7,01
		Queda Inclinada	3,35	0,009	-12,22	-0,23
	Tensão de Cisalhamento (τ_{xz})	Queda Direta	0,82	0,67	-0,82	-0,67
		Queda Lateral	1,96	1,81	-1,96	-1,85
		Queda Inclinada	0,26	0,04	-0,39	-0,01
Maleta de Controle	Tensão Normal (σ_z)	Queda Direta	0,71	0,28	-10,23	-9,3
		Queda Lateral	0,33	0,14	-9,23	-9,17
		Queda Inclinada	3,4	0,016	-14,93	-0,28
	Tensão de Cisalhamento (τ_{xz})	Queda Direta	1,85	1,98	-1,86	-2,05
		Queda Lateral	1,82	2,12	-1,79	-2,1
		Queda Inclinada	0,15	0,04	-0,34	-0,03

Figura 100 – Tabela com as tensões máximas e mínimas de cada simulação

Os resultados corroboram a expectativa de que o revestimento reduziria a tensão máxima sofrida pelas maletas em todas as situações de queda simuladas. Vale destacar as quedas inclinadas, a redução chega a mais de 97% do valor inicial de tensão. Isso é particularmente interessante, quando se trata de uma estrutura que comportará componentes eletrônicos delicados.

No entanto, vale ressaltar que, em se tratando de análise do material selecionado, os valores encontrados estão bem abaixo do módulo de ruptura do MDF conforme a Tabela 6. De fato, é de se esperar que a estrutura resista a uma queda mínima como a simulada. Contanto que o usuário faça o uso recomendado das maletas, é bastante provável que esse tipo de impacto seja o mais recorrente, com consequências mínimas para a estrutura destas.

De todo modo, os resultados mostram que é válida a aplicação do revestimento de SBR, não somente pela redução da tensão sofrida pela estrutura das maletas, mas também por outras características da manta emborrachada, como a proteção contra intempéries ambientais e, em última análise, como material de sacrifício para o desgaste que as maletas venham sofrer. A escolha do uso do revestimento dependerá mais do quanto este pode afetar a construção das estruturas das maletas, como será visto adiante.

6.7 Plano de construção

Uma vez que os materiais e as dimensões das maletas foram definidos, foi elaborado o manual para a construção destas. O manual denominado Manual de montagem, apresenta o passo a passo para a construção de todos os elementos do projeto inclusive os das maletas. Este manual está presente no Apêndice [O](#).

7 Abastecimento

No presente trabalho, o sistema de abastecimento é todo o conjunto que engloba o sistema de alimentação e os processos necessários para que o oxidante líquido seja transferido para o foguete de forma remota, segura e no momento indicado pelo usuário. Pode-se ainda citar os processos ocorridos para a ignição como apresentado em 5.1.

7.1 Fluxo de trabalho

A seguir é apresentado um fluxograma do sistema de alimentação, figura 101. Logo em seguida é caracterizado os componentes do sistema, desde os pré estabelecidos pelo cliente, até os definidos pelo grupo.

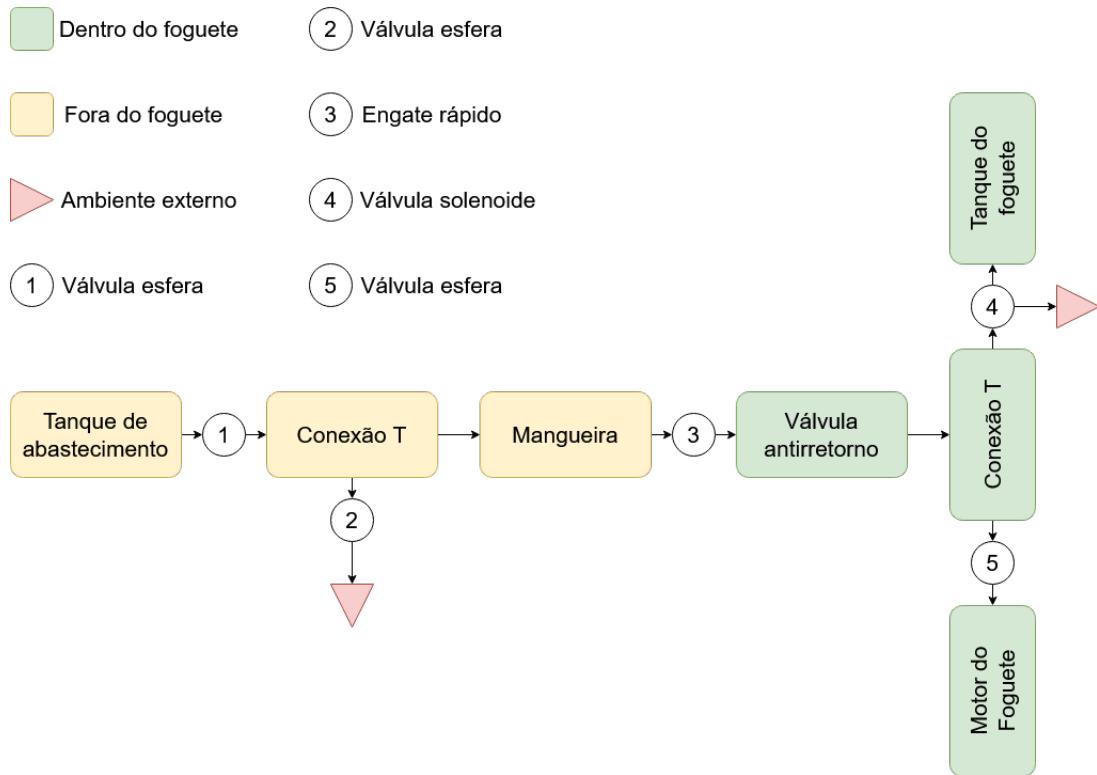


Figura 101 – Fluxograma do sistema de alimentação

Com base no projeto desenvolvido pelo cliente (TEAM, 2020), o funcionamento do sistema de abastecimento ocorre em etapas, cada uma delas correspondendo ao estados das válvulas, se estão abertas ou fechadas conforme a ação desejada, figura 101.

- 1. Etapa 1 - Estado inicial:** todas as válvulas estarão fechadas, ou seja, o sistema estará em repouso, de modo a evitar qualquer vazamento antes do início do processo

de abastecimento;

2. **Etapa 2 - Resfriamento do tanque do foguete:** abertura das válvulas 1 e 4, de modo a realizar a passagem de um fluxo inicial do fluido oxidante, com a finalidade de resfriar o tanque do foguete e otimizar seu abastecimento. O tempo de resfriamento fica a critério do usuário, e a etapa é encerrada com o fechamento das duas válvulas;
3. **Etapa 3 - Abastecimento do tanque:** abertura da válvula 1, com posterior abertura e fechamento intermitente da válvula 4 para alívio da pressão interna do tanque do foguete durante seu abastecimento. O fluido oxidante é transportado, devido a fenômenos termodinâmicos, em estado de mistura (líquido e gás), e no tanque do foguete a sua fase gasosa deverá ser expulsa pela válvula 4, até o nível definido pelo usuário, este é controlado pela célula de carga que mede a variação de peso do foguete. Com base nos dados fornecidos pela célula de carga, o usuário avaliará se o tanque se encontra cheio, encerrando a etapa com o fechamento da válvula 1 e, caso aberta, da válvula 4;
4. **Etapa 4 - Alívio de pressão da mangueira:** abertura da válvula 2 para expurgo do fluido oxidante que se encontra no interior da mangueira, de modo a equalizar sua pressão interna com a pressão ambiente, de modo a ser possível realizar seu desacoplamento do foguete. A existência de uma válvula anti-retorno na linha de abastecimento impede que o fluido contido no tanque do foguete seja também expurgado nessa fase;
5. **Etapa 5 - Desacoplamento da mangueira:** acionamento do engate rápido, por meio de um atuador linear, de modo a desacoplar e afastar a mangueira do foguete. Essa etapa encerra o processo de abastecimento, e o foguete está preparado para o lançamento;
6. **Etapa 6 - Ignição do foguete:** após o acionamento do ignitor junto ao combustível no motor do foguete, por meio do comando da estação de controle, é feita a abertura da válvula 5, que injetará o fluido oxidante do tanque do foguete na câmara de combustão no interior do motor. Assim o encontro desse fluido com o combustível e o calor gerado pelo ignitor iniciará a combustão principal, e o foguete iniciará sua decolagem.

Como mencionado, durante o transporte do fluido oxidante do tanque de abastecimento para o tanque do foguete, fenômenos termodinâmicos ocorrem, como a queda de temperatura provocada pela passagem do fluido conforme ele vai reduzindo a pressão à qual estava submetido no cilindro comercial (por volta de 50 bar). Em alguns casos, esse fenômeno é desejável, como para o resfriamento do tanque do foguete, em outros,

ele pode apresentar um problema, como o congelamento de válvulas e atuadores que não estejam nas especificações adequadas. Do mesmo modo, a atuação das válvulas ocorrerá em situações em que o fluido estará a grande pressão, o que impede o manuseio delas manualmente, seja por necessidade, seja por questões de segurança. Ademais, não é recomendado o uso de mangueiras muito longas para o abastecimento, devido à perda do fluido durante seu transporte.

A solução proposta é o acoplamento de dois atuadores rotativos nas válvulas 1 e 2, os quais receberão um comando remoto de abertura e fechamento a partir da estação de controle. Para tanto, será necessário tanto o dimensionamento das opções comerciais para atuadores, desde o torque gerado por cada um dos modelos até sua natureza – se eletrônico ou pneumático, quanto o desenvolvimento de uma estrutura de suporte e adaptação entre esses atuadores e as válvulas e conexões do sistema de alimentação, a qual também deverá observar as características (variação de temperatura e pressão) do processo de abastecimento.

Deve-se atentar ao fato de que o cliente pediu uma mudança de escopo onde ficou decidido que o dispositivo mecânico responsável pelo desacoplamento e remoção física da mangueira do foguete, a etapa 5 do sistema, representado por 3 na figura 101, será desenvolvido por eles. Cabendo à equipe apenas desenvolver a solução responsável por enviar o comando de desengate a partir da estação de controle. Eles ainda demandaram que esse sistema será baseado em um servo motor ou um motor como usado pelo grupo na solução de válvulas.

7.2 Caracterização dos componentes

Nessa seção estão apresentadas as características específicas dos componentes do sistema de abastecimento.

- **Tanque de abastecimento:** É um cilindro comercial fornecido pela empresa distribuidora de óxido nitroso. A válvula esfera, item 1 da figura 101, deverá ser conectada no bocal de saída desse cilindro, com uso de adaptador caso necessário.

Informações Técnicas: Cilindro de aço para 10 litros ou 7,0 Kg de óxido nitroso; Altura: 70 cm; Diâmetro: 20 cm; Peso aproximado: 15 Kg.

- **Válvula esfera macho-fêmea 1/2 polegada NPT Flangeada:** É uma válvula de abertura de 90°. Seu manipulo deverá ser retirado e a porca ligada à esfera de abertura/fechamento será conectada ao tarugo de conexão com o eixo do motor.

Informações Técnicas: figura 166.

- **Conecotor em T macho-fêmea-macho 1/2 polegada NPT:** São adaptadores em pontos de bifurcação do sistema hidráulico.

Informações Técnicas: para conexões pneumáticas os Tee e cotovelos são forjados em latão, Liga UNS - C37700 - TM, que proporcionam maior dureza e resistência contra golpes, choques mecânicos e vibrações, com absoluta inexistência de porosidade e trincas. A pressão de trabalho precisa ser compatível com as especificações do tubo utilizado.

- **Tubo flexível 1/2 polegada de aço inox com tramas de aço:** É necessário por não reagir com o óxido nitroso, como ocorre com a borracha, comum nas mangueiras convencionais.
- **Engate rápido 3/4 polegada NPT:** É uma conexão composta por duas peças (macho e fêmea) e um anel de segurança. Somente movendo o anel é que as duas peças podem ser desconectadas.
- **Válvula anti-retorno macho-fêmea 3/4 polegada NPT:** É uma válvula de sentido único, ligada ao engate rápido da mangueira e o conector T que liga o tanque ao motor dentro do foguete. Evita que o óxido nitroso volte no sentido do tanque de abastecimento.

No anexo A é apresentada mais informações técnicas de cada um dos elementos descritos nessa seção.

7.3 Atuador

O dimensionamento do atuador exige conhecimento do torque necessário para abrir a válvula esfera. Um estudo feito por Silva, aponta que o torque inicial necessário para abrir uma válvula esfera sob pressão de óxido nitroso é de 2 N.m.

Assim a solução para a abertura e fechamento de válvulas por comando remoto é a utilização de um motor de 12 Volts acoplado com um sistema de caixa redutora conectado a válvula. O sistema de caixa redutora possui a função de aumentar o torque do motor elétrico, diminuindo a velocidade de rotação.

A proposta é utilizar um motor de para-brisa que já possui uma caixa redutora acoplada a ele.

O óxido nitroso se apresenta em uma mistura líquido-vapor, com pressão de aproximadamente 57 bar a temperatura ambiente de 25°C. Admitindo uma margem de segurança, decidiu-se impor o critério de que a válvula deve suportar pressões de pelo menos 68 bar e temperaturas mínimas de até -20°C.

O atuador deve-se ter um torque mínimo que vai depender da válvula a ser utilizada, pode ser pesquisada o torque necessário para abrir a partir de dados do fabricante. No *datasheet* da válvula escolhida é mostrado um torque de aproximadamente 1,5 N.m e tempo de resposta de aproximadamente 2 segundos. Com base nesse torque, foram selecionadas duas opções

O Motor de vidro elétrico de carro: necessita ponte H (R\$25) para realizar abertura e fechamento. Posição intermediária difícil de se obter, não há precisão na posição do motor.

Informações técnicas: Voltagem 12V; Consumo 1,3A; Força 9,12 N.m / 93Kg.cm; Valor de R\$60.

Servo motor Ds3218: consegue ajustar bem a posição, possui um maior controle de vazão. Consumo bem menor que o motor. É mais caro e gera menos torque, precisaria-se de dois servos para cada válvula, para trabalhar com segurança.

Informações técnicas: Voltagem 7.2 V; Consumo 100 mA; Força 2,19 N.m / 22.3 Kg.cm; Valor R\$135

Assim, a escolha do atuador permeia o subnúcleo de energia, pois os valores de corrente são bem diferentes. Além disso, é necessário delimitar o preço, pois na verdade há no mercado válvulas esferas com atuadores elétricos pronto para uso, entretanto, como a pressão de trabalho é alta e a temperatura é baixa, o fluido no nosso projeto exige uma válvula robusta, que por sua vez exige um motor tão robusto quanto para abrir as válvulas, o custo de uma pronta é muito elevado de R\$1000 cada.

Com isso apresentado, a escolha foi do motor de vidro elétrico de carro que tem seus aspectos técnicos apresentados no anexo A.

7.3.1 Adaptador do atuador

A descrição do adaptador do atuador é apresentada no manual de montagem no Apêndice O. Na figura 102 é possível ver como ficou o sistema.

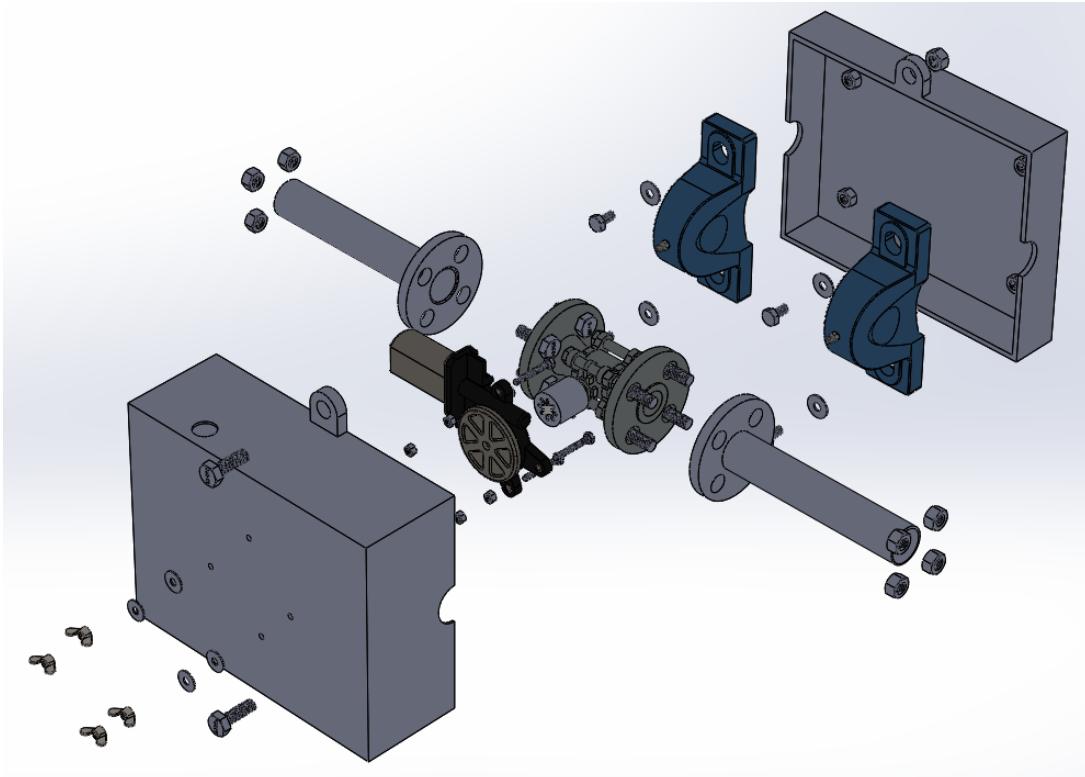


Figura 102 – Vista explodida do Adaptador

7.4 Óxido Nitroso

A escolha do óxido nitroso como parte do par propelente é justificada pelas vantagens que esse gás industrial traz devido às suas características. Como já mencionado, esse gás é auto pressurizante, podendo ser armazenado a altas pressões (por volta de 50bar) a temperatura ambiente (20°C), o que dispensa a necessidade de sistemas de pressurização e expulsão do tanque para o motor do foguete (necessitando apenas a abertura da válvula para o início da ignição). Além disso, é um gás comercial de fácil aquisição, relativamente barato em comparação a outros propelentes, é não tóxico, facilmente armazenável e de baixa inflamabilidade na ausência de seu par combustível (VASQUEZ, 2017).

Abaixo algumas características físico-químicas importantes para o uso dessa substância (VASQUEZ, 2017):

Massa molar	$44,013\text{kg/mol}$
Ponto de ebulação	$-88,5^\circ\text{C}$
Ponto de fusão	$-90,8^\circ\text{C}$
Temperatura crítica	$36,4^\circ\text{C}$
Pressão crítica	$72,45\text{bar}$
Pressão de vapor (20°C)	$50,8\text{bar}$
Condutividade térmica (0°C)	$14,57\text{mW/(m.K)}$
Entalpia de formação	82kJ/mol

Tabela 12 – Características físico-químicas do óxido nitroso

Para fins do presente trabalho, a temperatura do gás é o parâmetro mais importante, uma vez que ela pode afetar o funcionamento do sistema de alimentação. Como dito, o óxido nitroso é armazenado à alta pressão e à temperatura ambiente. Isso significa que, quando é aberta a válvula do cilindro de abastecimento, ocorre uma queda de pressão do gás enquanto ele passa pelo sistema de alimentação, o que incorre numa queda de temperatura brusca, o cliente relatou que experiências passadas mostraram risco de congelamento de válvulas caso estas não fossem capazes de trabalhar a baixas temperaturas.

7.5 Simulação hidráulica

Para a solução do nosso problema é necessária a criação de um adaptador para as válvulas do sistema de abastecimento. Esse sistema tem por objetivo transportar o propelente líquido do tanque de abastecimento para o tanque do foguete. Assim uma simulação que se aproxime do sistema eletromecânico desenvolvido, foi feita como meio de verificar sua usabilidade.

7.5.1 Metodologia

A simulação do sistema de abastecimento foi feita no software *Simulink/Matlab* pois se trata de uma ferramenta confiável e conhecida no ramo de engenharia. A robustez do software se torna aliada uma vez que possui blocos nativos que representam fisicamente cada um dos componentes, permitindo uma maior agilidade na montagem e modelagem do problema.

O projeto do sistema de alimentação foi desenvolvido usando-se o *Simscape Fluids*, uma ferramenta do *Matlab/Simulink*, onde ele fornece bibliotecas de componentes para modelagem e simulação de sistemas de fluidos, incluindo modelos de bombas hidráulicas, válvulas, atuadores, dutos e trocadores de calor. Para o abastecimento de combustível do foguete iremos usar o componentes de válvulas, atuadores e dutos integrado com as bibliotecas do *Simscape Eletric*, um análogo a aquele para sistemas elétricos.

O uso dessa ferramenta se da pois a mesma ajuda no desenvolvimento de sistemas de controle, onde é possível se testar o desempenho em nível de sistema. Com isso a principal biblioteca utilizada é a de Modelos Hidráulicos, na qual está-se presente os blocos hidráulicos básicos de temperatura constante seguindo-se as técnicas de modelagem apresentadas.

A seguir são apresentadas as etapas essenciais para construir e simular um modelo físico de sistema. A figura 105 mostra o passo a passo para esse desenvolvimento.



Figura 103 – Etapas de simulação

1. Etapa 1: Criar um novo modelo
2. Etapa 2: Montar a rede física, para modelar o sistema, adiciona-se blocos das bibliotecas *Simscape* a um modelo e, em seguida, os conecta a uma rede física.
3. Etapa 3: Ajuste os parâmetros do bloco e as metas variáveis
4. Etapa 4: Adicionar fontes, definir sinais de entrada.
5. Etapa 5: Adicionar sensores, para medir as quantidades da rede física.
6. Etapa 6: Conectar ao *Simulink* com blocos de interface
7. Etapa 7: Simular o modelo

8. Etapa 8: Ver os resultados da simulação

A simulação matemática no ambiente do software foi ajustada com os parâmetros da tabela 13 e os demais, por se tratarem de parâmetros que não alteram significativamente o resultado, foram deixados os valores padrão do programa.

Para as propriedades do fluído segue-se o que foi apresentado na seção 7.4. Assim mesmo o óxido nitroso se apresentando como uma mistura líquido-vapor, com pressão de aproximadamente 57 bar a temperatura ambiente de 25°C (NIST, 2020), foi assumido que o escoamento do óxido nitroso se dá na fase líquida e a uma temperatura constante. Dado a complexidade de se fazer a modelagem e simulação como um escoamento em duas fases (líquido e vapor), como é o caso real.

Densidade do óxido nitroso (a 25°C)	750 kg/m ³
Viscosidade cinemática (líquido)	0,0639x10 ⁶ m ² /s
Volume de óxido nitroso	7 L
Diâmetro das tubulações	2 cm

Tabela 13 – Parâmetros da simulação de abastecimento

7.5.2 Blocos usados para o nosso sistema.

7.5.2.1 Caracterização do fluido combustível - *Custom Hydraulic Fluid*

O primeiro passo é caracterizar o fluido combustível que deverá ser transportado, deve-se atentar ao fato de que essas propriedades serão consideradas constantes durante o tempo de simulação. Para o nosso caso o cliente especifica o uso do óxido nitroso, por isso esse é o fluido que trabalharemos aqui, assim suas propriedades são apresentadas na seção 7.4.

Este bloco atribui propriedades de fluido para todos os componentes montados no *loop*.

Os parâmetros utilizados são: densidade; viscosidade cinemática (líquido); módulo de compressibilidade, assim se o escoamento for incompressível; quantidade relativa de ar preso.

As variáveis necessárias são: volume do fluido; nível do fluido.

7.5.2.2 Tanque de abastecimento - *Tank*

Cilindro comercial fornecido pela empresa distribuidora do óxido nitroso. A válvula esfera deverá ser conectada no bocal de saída desse cilindro, com uso de adaptador caso necessário.

O bloco do Simulink indicado possui um sinal de saída que indica o volume de fluido no tanque e um sinal de entrada que é a porta de conservação hidráulica associada à entrada do tanque. A perda de carga pode ser inserida por meio do valor de *pipeline pressure loss coefficient*.

Tanque com pressão constante, leva em conta a mudança no nível do fluido e por isso é fornecida a área de seção transversal do tanque.

Os parâmetros necessários são: pressurização; nível do fluido; diâmetro da tubulação de entrada; coeficiente de perda de pressão do duto.

7.5.2.3 Válvula esfera - *Ball Valve*

Este bloco modela a redução de fluxo devido a uma válvula de esfera em uma rede hidráulica. Possui duas portas hidráulicas sendo uma associada a entrada e outra associada saída da válvula. Possui uma porta de entrada de sinal físico que indica o deslocamento capaz de alterar o fluxo do fluido que passa pela válvula.

Os parâmetros necessários são: diâmetro da esfera; diâmetro do orifício; coeficiente de descarga; *leakage area*; área interna entre as entradas da válvula.

As variáveis necessárias são: queda de pressão; quociente de vazão.

7.5.2.4 Conexão T - *T-junction*

O bloco representa uma junção em T que consiste em um trecho principal e uma ramificação que se une ao trecho principal em um ângulo especificado. A junção como uma resistência hidráulica é especificada por seis coeficientes de perda de pressão que caracterizam a relação pressão-vazão para cada conexão possível para o fluxo direto e reverso. O bloco apresenta três entradas/saídas hidráulicas (A, B, A1) que representam o fluxo do fluido.

Os parâmetros de geometria da válvula são: diâmetro do tubo principal; diâmetro do tubo de ramificação; especificação de transição laminar; razão de pressão de fluxo laminar.

A perda de pressão possui os seguintes coeficientes que podem ser alterados: coeficiente de perda de pressão AB; coeficiente de perda de pressão BA; coeficiente de perda de pressão A-A1; coeficiente de perda de pressão A1-A; coeficiente de perda de pressão A1-B; coeficiente de perda de pressão B-A1

7.5.2.5 Ambiente externo - *Hydraulic Reference*

O bloco de referência hidráulica representa uma conexão com a pressão atmosférica. O bloco possui apenas uma porta de conservação hidráulica.

7.5.2.6 Mangueira - *segmented Pipeline*

Este bloco representa a perda de pressão do fluido em tubulações hidráulicas com seções transversais circulares como um conjunto de segmentos de tubos idênticos, conectados em série. Cada segmento de tubo leva em consideração as propriedades resistivas, de inércia de fluido e compressibilidade de fluido. Possui duas portas hidráulicas sendo uma associada ao fluxo de entrada e outra associada ao fluxo de saída da tubulação.

Os parâmetros necessários são: diâmetro interno do tubo; comprimento do tubo; número de segmentos; comprimento equivalente agregado de resistências locais; altura de rugosidade da superfície interna; margem superior do fluxo laminar; margem inferior do fluxo turbulento; tipo de parede de tubo; coeficiente de pressão estática de diâmetro; constante de tempo do processo viscoelástico; relação de calor específico; pressões iniciais nos nós do modelo; pressão inicial; vetor de pressão inicial; taxa de fluxo inicial.

7.5.2.7 Válvula anti-retorno - *Check Valve*

Este bloco representa uma válvula de retenção hidráulica com o objetivo de permitir o fluxo em uma direção e bloqueá-lo na direção oposta. A válvula permanece fechada enquanto a diferença de pressão através da válvula é inferior à pressão de abertura da válvula. Quando a pressão de abertura é atingida, o membro de controle de fluxo é forçado a sair de sua sede, criando assim uma passagem entre a entrada e a saída. Se vazão e pressão forem altas o suficiente, a área é aumentada ainda mais até que o membro de controle alcance sua máxima abertura. Possui duas portas hidráulicas sendo uma associada ao fluxo de entrada e outra associada ao fluxo de saída da válvula.

Os parâmetros necessários são: área máxima de passagem; pressão de fissura; pressão máxima de abertura; coeficiente de vazão; especificação de transição laminar; razão de pressão de fluxo laminar; número crítico de Reynolds; área de vazamento; dinâmica de abertura; constante de tempo de abertura; área inicial;

7.5.3 Resultados

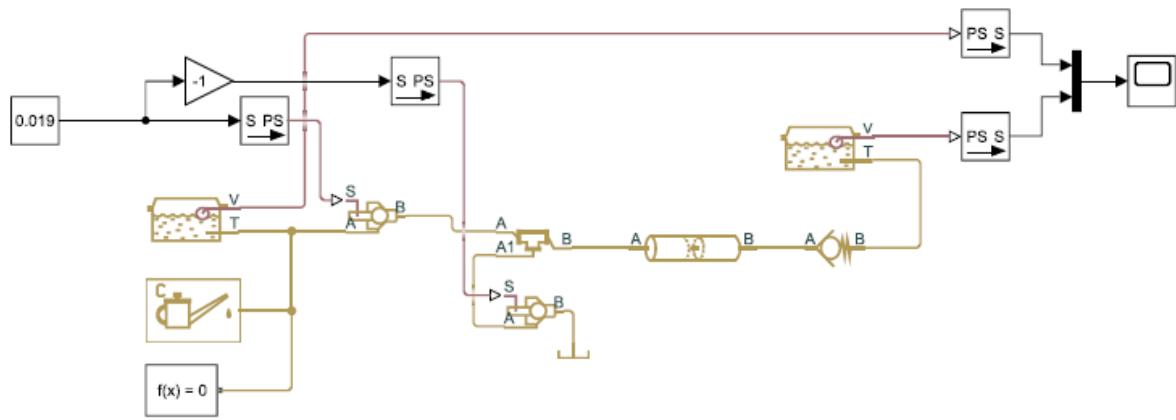


Figura 104 – Diagrama hidráulico

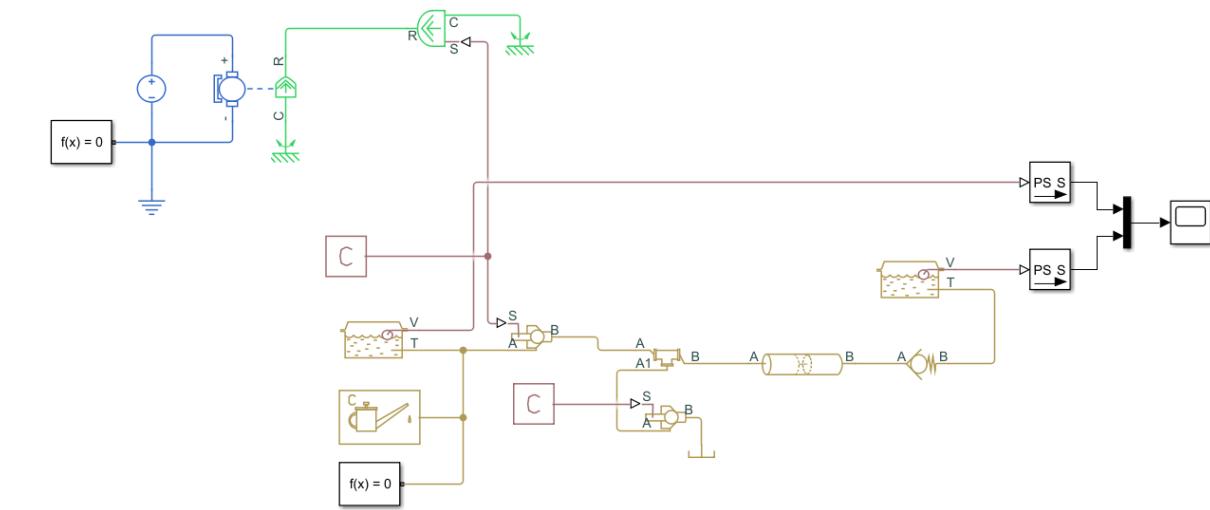


Figura 105 – Diagrama eletromecânico

8 Custos

8.1 Eletrônica e Software

Material	Preço	Quantidade	Frete	Loja	Total
Regulador de tensão (LM2596)	RS 13,21	3	RS 23,23	Baú da Eletrônica	RS 62,86
Placa Lora + Esp32 c/ Display Oled Wifi Bluetooth 915mhz	RS 149,99	3	RS -	Mercado Livre	RS 449,97
Módulo Rele 2 Canais - 5v/10A	RS 16,60	2	RS 21,11	Mercado Livre	RS 54,31
Módulo Gps Gy-gps6mv2	RS 36,00	1	RS 31,90	Mercado Livre	RS 67,90
Módulo Micro SD-CARD	RS 8,90	1	RS 23,90	Mercado Livre	RS 32,80
Sensor de Pressão BMP280	RS 13,50	1	RS 21,11	Curto circuito	RS 34,61
Driver Motor Ponte H L298n	RS 17,70	1	RS 21,11	Curto circuito	RS 38,81
Módulo Conversor Nível Lógico 5V/3.3V - Bidirecional	RS 7,40	1	RS 31,90	Mercado Livre	RS 39,30
Célula De Carga 50 Kg Sensor De Peso + Placa Hx711	RS 21,68	2	RS 31,90	Mercado Livre	RS 75,26
Nvidea Jetson Nano Developer Kit	RS 1542,05	1	RS 37,51	Submarino	RS 1579,56
Lcd 9 Polegadas P/ Cubieboard E Raspberry Pi Hdmi Vga Av	RS 320,00	1	RS -	Mercado Livre	RS 320,00
Teclado 7"59 Teclas Sem Fio Bluetooth 3.0 Slim Teclado C/ Touch	RS 202,0	1	RS -	Mercado Livre	RS 202,00
Total software/eletônica	-	-	-	-	RS2956,82

Tabela 14 – Custos do Projeto de Eletrônica e Software

8.2 Energia

Material	Preço	Quantidade	Frete	Loja	Total
Bateria de lítio 12V/97Wh (Dell)	RS 718,00	1	RS 0,00	Dell	RS 718,00
Bateria de lítio 12V/10Ah (Unipower)	RS 517,50	1	RS 0,00	Unipower	RS 517,50
Cabo De Força 3x0,75mm 1,50 Metro + Tomada C14 Painel 3 Polos	RS 31,00	1	RS 18,90	Mercado Livre	RS 49,90
Chave HH Baixa - 127V / 220V	RS 1,59	1	RS 23,23	Baú da Eletrônica	RS 24,82
Transformador Trafo 110/220V para 30V 1A	RS 49,90	1	RS 11,05	Lojas Americanas	RS 60,05
Resistor 0R12 5%	RS 0,38	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,38
Resistor 1KR 5%	RS 0,15	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,15
Resistor 240R 5%	RS 0,04	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,04
Transistor NPN - BC547	RS 0,15	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,15
Regulador de Tensão Ajustável LM317	RS 0,49	1	-	Baú da Eletrônica	RS 0,49
Regulador de Tensão L7812	RS 1,25	1	-	Baú da Eletrônica	RS 1,25
Capacitor Eletrolítico 1000uF	RS 3,29	1	-	Baú da Eletrônica	RS 3,29
Diodo 1N4007	RS 0,10	2	-	Baú da Eletrônica	RS 0,20
Metro de cabo pp 2X2,5 mm ²	RS 3,89	3	RS 12,51	Eletrofrigor	RS 24,18
Adaptador Jack P4 macho	RS 1,66	5	-	Baú da Eletrônica	RS 4,98
Conector Jack P4 fêmea	RS 0,75	6	RS 13,70	Eletroinfo Cia	RS 22,00
Conetor Dock bateria	RS 22,99	1	RS 0,00	Shopee	RS 22,99
Chave Gangorra KCD4-201N Verme-lha	RS 3,70	2	-	Baú da Eletrônica	RS 7,40
Regulador de tensão (LM2596)	RS 13,21	2	RS -	Baú da Eletrônica	RS 26,42
Cabo flexível 0,75 mm ² Preto (metro)	RS 0,94	4	-	Baú da Eletrônica	RS 3,76

Cabo flexível 0,75 mm ² Vermelho (metro)	<i>RS</i> 0,94	4	-	Baú da Eletrônica	<i>RS</i> 3,76
Kit 2 Garra Jacaré média (01 Vermelha E 01 Preta)	<i>RS</i> 2,80	2	<i>RS</i> 18,36	SDtronic	<i>RS</i> 23,96
Terminal Faston Fêmea	<i>RS</i> 0,30	05	<i>RS</i> 15,47	EletroGate	<i>RS</i> 16,97
Total energia	-	-	-	-	<i>RS</i> 1532,64

Tabela 15 – Custos do Projeto de Energia

8.3 Estrutura

Material	Preço	Quantidade	Frete	Loja	Total
Alça	<i>RS</i> 15,00	1	<i>RS</i> 17,90	Mercado Livre	<i>RS</i> 32,90
Cantoneira de alumínio	<i>RS</i> 17,00	3	<i>RS</i> 26,90	Mercado Livre	<i>RS</i> 77,90
Kit com 8 protetores de canto	<i>RS</i> 20,00	1	<i>RS</i> 9,00	Mercado Livre	<i>RS</i> 29,00
Kit com 100 parafusos 4x40	<i>RS</i> 8,29	1	<i>RS</i> 19,68	DallAnese	<i>RS</i> 27,97
Kit com 20 parafusos 4x12	<i>RS</i> 0,70	3	<i>RS</i> 18,36	DallAnese	<i>RS</i> 20,46
Fecho para caixa	<i>RS</i> 3,80	4	<i>RS</i> 20,65	Local maker	<i>RS</i> 35,85
Dobradiça 50mm	<i>RS</i> 0,61	2	<i>RS</i> 20,84	CCP Parafusos e Ferramentas	<i>RS</i> 22,06
Dobradiça 40mm	<i>RS</i> 4,08	4	<i>RS</i> 21,89	Disfoil	<i>RS</i> 38,21
Chapa madeira MDF 15mm (m ²)	<i>RS</i> 56,90	3	<i>RS</i> 0,00	Leroy Merlin	<i>RS</i> 170,70
Manta de borracha SBR (1,2m ²)	<i>RS</i> 61,63	2	<i>RS</i> 34,90	São Miguel borrachas	<i>RS</i> 158,16
Motor de vidro elétrico Mabuchi	<i>RS</i> 43,56	2	<i>RS</i> 19,90	Daloh Comercio	<i>RS</i> 107,02
Válvula de esfera 1/2"flangeada	<i>RS</i> 180,00	2	<i>RS</i> 16,90	Marques nilmar	<i>RS</i> 376,90
Total estrutura	-	-	-	-	<i>RS</i> 1097,13

Tabela 16 – Custos do Projeto de Estrutura

8.4 Total

Eletrônica e Software	<i>RS</i> 2956,82
Energia	<i>RS</i> 1532,64
Estrutura	<i>RS</i> 1097,13
Total	<i>RS</i> 5586,59

Tabela 17 – Custo total do Projeto

9 Considerações finais

O presente trabalho buscou desenvolver uma solução completa de apoio ao lançamento de um foguete experimental de propulsão híbrida. Os lançamentos de um foguete desse tipo exigem atos preparatórios antes e de acompanhamento durante e depois da ignição do foguete, os quais, por questões de segurança, precisam ser feitos de maneira remota.

Assim, foi-se pensado em uma estrutura capaz de executar os comandos e receber as informações necessárias para a execução do ciclo completo de um lançamento. Um vez que o foguete tenha sido colocado na base, e a mangueira de abastecimento tenha sido acoplada, procedimentos que podem ser feitos manualmente pelos membros da equipe de lançamento. o *Rocket Guidance Station* (RGS) é capaz de fazer a abertura das válvulas do sistema de abastecimento, receber os dados de variação do peso que indicam o quanto o tanque está ficando cheio, executar o fechamento das válvulas, o desacoplamento da mangueira e a ignição do motor do foguete, tudo por rádio-frequência a uma distância segura (500m).

Além disso, durante o voo, a RGS é capaz de receber os dados de telemetria do foguete, os quais indicam sua posição, altitude e velocidade, informações essenciais para qualificar o voo e proceder sua recuperação após o voo.

O projeto foi pensado como uma solução sob medida para as necessidades da Capital Rocket Team, equipe de foguetes da Universidade de Brasília e pioneira no trabalho com propulsão híbrida. Porém, na medida em que mais e mais equipes passam a se interessar mais por essa tecnologia inovadora, a RGS tem o potencial de atender novas demandas do setor, contribuindo para o desenvolvimento das tecnologias aeroespaciais no Brasil e no mundo.

Referências

- 3DLAB. *Conheça as propriedades técnicas dos materiais para impressora 3D*. 2020. 3dlab <<https://3dlab.com.br/propriedades-dos-materiais-para-impressora-3d/>>. Citado na página 120.
- ABNT. Nbr 5410/2004 instalações elétricas de baixa tensão. 2004. Citado na página 110.
- ABRAS, C. et al. User-centered design. *Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications*, v. 37, n. 4, p. 445–456, 2004. Citado na página 31.
- ADAFRUIT. *Adafruit BMP280 Library*. <<https://www.arduinolibraries.info/libraries/adafruit-bmp280-library>>. Citado na página 71.
- ALBUQUERQUE, A. R. R. de; MARQUES, M. L. Sobre os fundamentos da arquitetura da informação. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, v. 1, n. 1, p. 60–72, 2011. Citado na página 37.
- AMERSHI, S. et al. Software engineering for machine learning: A case study. In: IEEE. *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)*. [S.l.], 2019. p. 291–300. Citado na página 201.
- ANATEL. *Resolução nº 726*. 2020. <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2020/1411-resolucao-726#art2>>. Citado na página 63.
- ARDUCORE. *CONVERSOR DE NÍVEL LÓGICO BIDIRECIONAL I2C 5V - 3,3V*. <https://www.arducore.com.br/conversor-de-nivel-logico-bidirecional-i2c-5v-33v?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwluL8BRCXARIAGiC51Am94Hsu8alxmoi6kZd8pwH8wmpaU8iJm7gpokCFdDvda745KR0AO8aAlx5EAwcB>. Citado na página 87.
- ARDUINOMEGA. *Sensor de Pressão e Temperatura BMP280*. Postado no site ArduinoMega <https://www.ardinomega.com.br/sensor-de-pressao-e-temperatura-bmp280?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=Cj0KCQjwrb7BRDIARIAsACwGad68AEoWjak1QuELo5fhFWaW_s0QIs4hG7icQj33YHxmeyIdL28RjwaAiXaEALw_wcB>. Citado na página 70.
- AUTOCODE. *Vue.js*. 2020. Disponível em: <<https://br.vuejs.org/>>. Citado na página 43.
- BARREIROS, N. Análise e construção de um geolocalizador via wi-fi bssid com transmissão lora. *Centro de Tecnologia e Urbanismo Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Estadual de Londrina*, 2019. Citado na página 63.
- BIML-VIML. *International Vocabulary of terms in Legal Metrology (VIML)- OIML V 1 Edition 2013*. [S.l.]: OIML, 2013. Citado na página 83.

BRITO, F. F. F. V. d. *Usabilidade e Design de Interfaces para uma Aplicação Web da Premium Minds*. Tese (Doutorado), 2016. Citado na página 38.

CALLISTER, W. *Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução* . [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000. Citado na página 118.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Mdf–processo de produção, propriedades e aplicações. *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos materiais*, 2002. Citado na página 117.

CAPELARI, N. S. B. Telemetria aeronáutica com envio de dados meteorológicos e informações para correção diferencial de sistemas de radiolocalizaçā. USP, 2012. Citado na página 61.

CIA, A. *Use o BMP280 para medir temperatura, pressão e altitude*. 2017. Postado no Blog Arduino e Cia <<https://www.arduinoecia.com.br/bmp280-pressao-temperatura-altitude/>>. Citado na página 71.

CLIEVER. *ABS BRANCO / 1,75mm / 1 Kg / CLIEVER*. 2020. CLIEVER <<https://www.cliever.com/produto/abs-branco-1-75mm-1-kg-cliever-279?gclid=CjwKCAiAtej9BRAvEiwA0UAWXq77uR37dG8z7vWzGoglNjoJMa0CyrcHkXnOTQoQMysqp-db1RN6ixxBwE>>. Citado na página 120.

CLIEVER. *PLA BRANCO / 1,75mm / 1 Kg / CLIEVER*. 2020. CLIEVER <https://www.cliever.com/produto/pla-branco-1-75mm-1-kg-cliever-288?gclid=CjwKCAiAtej9BRAvEiwA0UAWXj2n0PQvXpE_vnuFeuEf0Lem-4YCkwttW_vwrNWDRNOM8VowD20ihcIloIQAvD_BwE>. Citado na página 119.

COMPOSE, D. *Docker compose*. 2020. <<https://docs.docker.com/compose/>>. Citado na página 47.

CTB. *Borracha de estireno (SBR)*. 2019. <<https://www.ctborracha.com.br/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/borrachas-sinteticas/borracha-de-estireno-butadieno-sbr/>>. Citado na página 121.

CTB. *Borracha de Etileno Propileno(EPM)*. 2019. <<https://www.ctborracha.com.br/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/borrachas-sinteticas/5279-2/>>. Citado na página 121.

CTB. *Borracha de Poliisopreno(IR)*. 2019. <<https://www.ctborracha.com.br/borracha-sintese-historica/materias-primas/borrachas/borrachas-sinteticas/borracha-de-poliisopreno-ir/>>. Citado na página 121.

DEBIAN. *Arquitetura ARM 64*. 2020. <<https://www.debian.org/releases/stable/arm64/>>. Citado na página 47.

DELL. *Bateria de íon de lítio Dell de 9 células e 97 Wh*. 2020. Postado no site Dell <https://www.dell.com/pt-br/work/shop/bateria-de-%C3%ADon-de-l%C3%ADtio-dell-de-9-c%C3%A1lulas-e-97-wh/apd/312-1325/acess%C3%B3rios-para-computador?gacd=9690632-15009-5761040-276815260-0&dgc=ST&cid=71700000069469182&&gclid=CjwKCAjwzvX7BRAeEiwAsXExo1tUtxG7TskeXvhD9t6GB40hSrkh73XjtvFgADb8d0CpZXnqSzeBoCvIQQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds#compatibility_section/>. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 101.

- DGS. 2010. Drone ground station AeroExpo <<https://www.aeroexpo.online/prod/birdpilot/product-181429-23018.html>>. Citado na página 79.
- DOCKER. Docker. 2020. <<https://docs.docker.com/get-started/overview/>>. Citado na página 47.
- EDUFER. *Tabela de fio Níquel-Cromo ou Nicromo (NiCr) para resistores*. 2020. Disponível em: <<https://www.edufer.com.br/tabela-fio-niquel-cromo/>>. Citado na página 97.
- ELEOTÉRIO, J. R.; FILHO, M. T.; JÚNIOR, G. B. Propriedades físicas e mecânicas de painéis mdf de diferentes massas específicas e teores de resina. *Ciência Florestal*, SciELO Brasil, v. 10, n. 2, p. 75–90, 2000. Citado na página 117.
- ELETROGATE. *Célula De Carga 50Kg - Sensor De Peso*. 2020. Postado no site Eletrogate <https://www.eletrogate.com/celula-de-carga-50-kg-sensor-de-peso?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjw19z6BRAYEiwAmo64LcZIEQEjZFYQXPnvLeAYCDDhxvi6jvKI2Sg8c3C1I7Mikh_wJV4OhoCuL0QAvD_BwE>. Citado na página 75.
- ENGINEERING, O. *Célula de Carga*. 2020. Posted on OMEGA Engineering Company Blog. Citado na página 74.
- FELIPE, R. A. C. e Jayna Santos e Renata Felipe e R. Comportamento mecânico do compósito prfv quando imerso em Água do mar por tempo prolongado. *HOLOS*, v. 4, n. 0, p. 78–87, 2017. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/5320>>. Citado na página 118.
- FILIPEFLOP. *Driver Motor Ponte H L298n*. <<https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-ponte-h-l298n/>>. Citado na página 86.
- FILIPEFLOP. *Módulo Conversor HX711 para Sensor de Peso*. Postado no site FilipeFlop <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-conversor-hx711-para-sensor-de-peso/>>. Citado na página 77.
- FILIPEFLOP. *Módulo Relé 5V 2 Canais*. <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-2-canais/>>. Citado na página 88.
- FREEDMAN, H. D. Y. R. A. *Física I: Mecânica*. [S.l.]: Pearson, 2008. Citado na página 130.
- GALLI, C. A. Caracterização das propriedades mecânicas de compósitos de matriz de epóxi com fibras de carbono unidirecionais. *Escola Politécnica-UFRJ*, 2016. Citado na página 118.
- GAMMA, E. *Design Patterns - Elements of Reusable Object-Oriented Software*. [S.l.]: Addison-Wesley Professional; 1^a Edição, 1994. Citado na página 45.
- GOMES, J. W. et al. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de mdf. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 27, p. 48–55, 2017. Citado na página 117.
- GROUP, T. Generic standard on printed board design-ipc-2221b. 2012. Citado na página 92.

GUILHERME, J. *Extensômetria (Strain Gauge) – O que é? Quando utilizar?* 2016. <<https://ensus.com.br/extensometria-strain-gauge-o-que-e-e-quando-utilizar/>>. Citado na página 75.

GUIMARAES, F. *Ponte H – O que é e como funciona.* 2018. <<http://mundoprojetado.com.br/ponte-h-o-que-e-e-como-funciona/>>. Citado na página 86.

GURU, R. *Chain of Responsability design pattern.* 2020. Disponível em: <<https://refactoring.guru/pt-br/design-patterns/chain-of-responsibility>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 45.

HAENDCHEN, O. d. O. B. J. D. H. Uso de mapas mentais para a especificação de requisitos. *Revista Científica do Alto vale do Itajaí*, 2015. Citado na página 40.

HELERBROCK, R. *Mundo da Educação - Ponte de Wheatstone.* <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ponte-wheatstone.htm>>. Citado na página 75.

HUNION. *Segurança Eletrônica.* 2020. Disponível em: <<https://www.hunion.com.br/auto-transformador/transformador-trafo/transformador-trafo-30-30v-1a-bivolt-eletronica>>. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 106.

IBM. *LoopBack.* 2020. Disponível em: <<https://loopback.io/>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 45.

INFORMAÇÃO, V. T. da. *GPS - O que é, como funciona.* 2020. Postado no Blog Só Física <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/curiosidades/gps.php>>. Citado na página 73.

INSTRUMENTS, T. Lm2596 - power converter 150-khz, 3-a step-down voltage regulator. 1999. Citado na página 103.

ISKANDAR, T. e. a. F. Comparison between client-side and server-side rendering in the web development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP, v. 801, n. 3, p. 2–3, 2020. Citado na página 43.

JÚNIOR, J. S.; JÚNIOR, N. B.; HEMKEMEIER, M. Aspectos ambientais da substituição de componentes em fibra de vidro por componentes em abs (acrilonitrila butadieno estireno) em uma indústria de produção de carrocerias de ônibus. *Ciência & Engenharia*, v. 23, n. 2, p. 33–38, 2014. Citado na página 120.

KOSOW, I. L. *Máquinas elétricas e transformadores.* [S.l.]: Porto Alegre, 1982. Citado na página 106.

LABS, S. *Running and Building ARM Docker Containers on x86.* 2020. <<https://www.stereolabs.com/docs/docker/building-arm-container-on-x86/>>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 60.

LI, X.; LIU, Z.; JIFENG, H. A formal semantics of uml sequence diagram. In: IEEE. *2004 Australian Software Engineering Conference. Proceedings.* [S.l.], 2004. p. 168–177. Citado na página 48.

LILLEY, M.; BARKER, T.; BRITTON, C. The development and evaluation of a software prototype for computer-adaptive testing. *Computers & Education*, Elsevier, v. 43, n. 1-2, p. 109–123, 2004. Citado na página 39.

LIMA, C. B. de. *Técnicas de Projetos Eletrônicos com os Microcontroladores AVR*. [S.l.]: Edição do autor - Clube de Autores, 1^a ed., 2010. Citado na página 93.

MADEIRA, R. D. *Propriedades de painéis MDF de Eucalipto*. 2010. <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1496&subject=Pain%C3%A9is&title=Propriedades%20de%20pain%C3%A9is%20MDF%20de%20Eucalipto>. Citado 2 vezes nas páginas 117 e 121.

MAKEITFROM.COM. *Medium Density Fiberboard (MDF)*. 2020. Disponível em: <<https://www.makeitfrom.com/material-properties/Medium-Density-Fiberboard-MDF>>. Citado na página 128.

MATERIALS, A. *Emulsion Polymerised Styrene Butadiene Rubber (E-SBR) – Mechanical, Electrical and Cure Properties and Resistance to Fluids*. 2020. Disponível em: <https://www_azom_com/properties.aspx?ArticleID=1844>. Citado na página 128.

MATTEDE, H. *O que são sensores e quais as suas aplicações?* 2020. Postado no Blog Mundo da Elétrica <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes>>. Citado na página 70.

MEHL, E. L. D. M. Conceitos fundamentais sobre placas de circuito impresso. 2013. Citado na página 93.

MERCADOLIVRE. *Mini Teclado com touchpad*. 2020. Postado no site Mercado Livre <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1629472172-7-59-teclas-sem-fio-bluetooth-30-slim-teclado-c-touch-JM?matt_tool=90090532&matt_word=&gclid=CjwKCAjw-5v7BRAmEiwAJ3DpuEIA3zUnH1-pQ9CdpKBJ_a_O-GrK_dkUvQwuyvCY3ExUd9skerb0nBoCZjAQAvD_BwE>. Citado na página 81.

MERCADOLIVRE. *Tela LCD 9 polegadas*. 2020. Postado no site Mercado Livre <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-704386851-lcd-9-polegadas-p-cubieboard-e-raspberry-pi-hdmi-vga-av-JM?matt_tool=86155663&matt_word=&gclid=Cj0KCQjwzbv7BRDIARIAM-A6-2A5fInhBXmCxRuSVtPT9VCEHUfbCudZt89O5xE9jhrGr5QU4wcB>. Citado na página 80.

MERLIN, L. *Chapa por Metro de Madeira MDF*. 2020. <<https://www.leroymerlin.com.br/mdf>>. Citado na página 117.

MICHELI, A. Baterias de lítio. Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. LTDA., 2020. Citado 3 vezes nas páginas 5, 107 e 108.

MOZILLA. *Ajax*. 2020. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/Guide/AJAX>>. Citado na página 43.

MOZILLA. *Promise*. 2020. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Promise>. Citado na página 43.

NIELSEN-GAMMON, J. *ATMO 251 - Weather Observation and Analysis. Chapter 8.* [S.l.]: Texas AM University. Citado na página 71.

NIST. *Propriedades termofísicas de sistemas fluidos.* 2020. <<https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>>. Citado na página 141.

NODE. *Serial Port.* 2020. Disponível em: <<https://serialport.io/>>. Citado na página 47.

NVIDIA. *Nvidia Jetson Nano Developer Kit.* 2020. Postado no site Nvidia <<https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>>. Citado na página 82.

OLIVEIRA, E. *Como usar com Arduino – Conversor de Nível Lógico 3.3V / 5V.* <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-conversor-de-nivel-logico-3-3v-5v/>>. Citado na página 86.

OPENJS. *Documentação do Electron.* 2020. Disponível em: <<http://www.electronjs.org/>>. Citado na página 43.

ORTIZ THALES T. ALMEIDA, A. E. F. L. H. M. K. C. F. M. Caracterização de desempenho de uma rede lora em ambientes urbanos: Simulação vs. prática. *Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 3Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca,* 2019. Citado na página 64.

PASSOLD F.POSSA, P. R. Recarregador inteligente de baterias. Conferência Internacional de Aplicações Industriais, Recife, PE, 2006. Citado na página 100.

PIERIN, I. et al. Estudo de estabilidade de perfis pultrudados de materiais prfv. Florianópolis, SC, 2005. Citado na página 118.

RADIOENGE. Manual de utilização módulo loramesh. 2018. Citado na página 67.

REDELEASE. *Kit: Laminação em Fibra de Carbono.* 2020. ELO7 <<https://www.elo7.com.br/kit-laminacao-em-fibra-de-carbono-0-70-m/dp/A93978>>. Citado na página 118.

RIBEIRO, J. M. T. Uma aplicação da tecnologia lora em um ambiente hospitalar. 2019. Citado na página 66.

RIBEIRO, J. M. T. Uma aplicação da tecnologia lora em um ambiente hospitalar. Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. Citado na página 67.

ROBOCORE. *Módulo GPS GY-NEO6MV2 com Antena.* 2020. Postado no site RoboCore.net <https://www.robocore.net/loja/sensores/modulo-gps-gy-neo6mv2-com-antena?gclid=Cj0KCQjwqrbb7BRDIARIIsACwGad5podJqlfjI28dQa5-f1IDrr-LuDgXl38V4OW2dWrA7-xkroNyn68aAj93EALw_wcB>. Citado na página 73.

SACHDEVA, Z. *Event Loop in Javascript*. 2019. Posted on Medium <<https://medium.com/@zubin.2406/event-loop-in-javascript-873ef2bddb7c>>. Citado na página 42.

SANTANA, L. et al. A comparative study between petg and pla for 3d printing through thermal, chemical and mechanical characterization. *Matería (Rio de Janeiro)*, SciELO Brasil, v. 23, n. 4, 2018. Citado na página 119.

SEMICONDUCTOR, A. 24-bit analog-to-digital converter (adc) for weigh scales hx711 - data sheet. Avia. Citado 2 vezes nas páginas 76 e 77.

SENSORTEC, B. Bmp280 digital pressure sensor - datasheet. Bosh Sensor tec, 2018. Citado na página 70.

SHAMS, R. Developing machine learning products better and faster at startups. *IEEE Engineering Management Review*, IEEE, v. 46, n. 3, p. 36–39, 2018. Citado na página 201.

SHOPPING, E. *Folha de fibra de carbono flexível de alta dureza forte conveniente, placa de fibra de carbono, para arquiteto de renovação doméstica*. 2020. Americanas <https://www.americanas.com.br/produto/2312580374?opn=YSMESP&size=Brilhante%20230%20*%20170%20*%201%2C5%20mm>. Citado na página 118.

SHUDA A.J. RIX, M. B. E. Module-level monitoring of solar pv plants using wireless sensor networks. 2017. Citado na página 65.

SILVA, J. M. C. F. Andréia da. Proteção de placas eletrônicas em ambientes agressivos. 2013. Citado na página 92.

SILVA, S. A. M. D.; GONÇALVES, R. Avaliação da distribuição da densidade em mdf a partir da técnica da onda de ultra-som. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, p. 19–26, 2007. Citado na página 117.

SIMÕES, C.; VIANA, J.; CUNHA, A. Mechanical properties of poly (ε -caprolactone) and poly (lactic acid) blends. *Journal of Applied Polymer Science*, Wiley Online Library, v. 112, n. 1, p. 345–352, 2009. Citado na página 119.

SONGLE. *SRD-12VDC-SL-C Datasheet Songle Relay*. <https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_Rele_5V.pdf>. Citado na página 87.

STMICROELECTRONICS. *L298 DUAL FULL-BRIDGE DRIVER - Datasheet*. 2020. <https://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_L298_Ponte_H.pdf>. Citado na página 86.

SUPERSTEEL. *Datasheet fio Níquel- Cromo*. 2020. <<http://www.supersteel.com.br/niquel-cromo/produto/fios-e-fitas/niquel-cromo/8020-nikrotal-80/>>. Citado na página 98.

SUTTON, G. P. *Rocket Propulsion Elements*. 9th ed.. ed. [S.l.]: Wiley, 2016. Citado na página 23.

SYSTEMS, E. Esp32 series - datasheet. SHANGHAI, 2020. Citado na página 63.

- TEAM, C. R. *CDR: Foguete Daedalus 2.* 2020. No prelo. Solicitação ao autor: capitalrocketteam@gmail.com. Citado na página 133.
- TELECO. *WLAN X Sistemas Móveis Celulares: Faixas de Frequências.* 2020. <https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwlanx/pagina_3.asp>. Citado na página 64.
- UBLOX. Neo-6 u-blox 6 gps modules - data sheet. Ublox. Citado na página 73.
- UNIPOWER. Bateria lítio ferro-fosfato lifepo4 - uplfp12-30. São Paulo, Brasil, 2017. Citado na página 102.
- VANGUNDY, A. B. Brain writing for new product ideas: an alternative to brainstorming. *Journal of Consumer Marketing*, MCB UP Ltd, 1984. Citado na página 33.
- VANI, G. et al. Comparação das propriedades mecânicas de compósitos prfv obtidos pelos processos de laminação contínua e pultrusão. Citado na página 118.
- VASQUEZ, R. A. *PROPULSOR HÍBRIDO COMPACTO DE QUEIMADUAL E INJEÇÃO VORTICAL USANDO PARAFINA EÓXIDO NITROSO.* 2017. [Http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.23.03.35/doc/publicacao.pdf](http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.23.03.35/doc/publicacao.pdf). Citado na página 138.
- VIDAL, V. *Balança digital com Arduino e célula Strain Gauge – Revisada.* 2017. <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ponte-wheatstone.htm>>. Citado 2 vezes nas páginas 76 e 78.
- VIDAL, V. *Balança digital com Arduino e célula Strain Gauge – Revisada.* 2017. <<https://blog.eletrogate.com/balanca-digital-com-arduino-aprenda-a-usar-a-celula-de-carga/#:text=Passos%20para%20Calibra%C3%A7%C3%A3o%20%3A,10%2C100%2C1000%2C10000%20respectivamente%20ou>>. Citado na página 83.
- VIEIRA, A. C. *Mdf tudo que você precisa saber sobre esse material.* 2016. Habitissimo <<https://projetos.habitissimo.com.br/projeto/material-da-semana-mdf>>. Citado na página 117.
- VILLAMIZAR, M. et al. Evaluating the monolithic and the microservice architecture pattern to deploy web applications in the cloud. In: . [S.l.: s.n.], 2015. Citado na página 41.
- VOSEN, C. A. *Nanocompósitos de ABS/PA e argilas organofílicas.* Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009. Citado na página 119.
- WALTER, Y. O conteúdo da forma: Subsídios para seleção de materiais e design. 2006. Citado 2 vezes nas páginas 115 e 120.
- WENDLING, M. *Retificadores.* 2011. <<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/3---retificadores.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 5, 107 e 108.
- WIKIPEDIA. *Adapter.* 2020. Disponível em: <https://sourcemaking.com/design_patterns/adapter>. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 47.

- WILSON, C. *Interview techniques for UX practitioners: A user-centered design method.* [S.l.]: Newnes, 2013. Citado na página 31.
- YANDONG, W.; KEZHENG, H. Development of life originated artificial designer system. In: IEEE. *Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA '05).* [S.l.], 2005. v. 1, p. 319–324. Citado na página 201.
- ZHO, Z. T. W. Lora-hybrid: A lorawan based multihop solution for regional microgrid. 2019. Citado na página 65.

Apêndices

APÊNDICE A – Repositório do Projeto - GitHub

Para manter a organização, versionamento e divulgação do projeto, foi criada a organização no GitHub [Ground Station](#).

A.1 Documentação do Projeto

O repositório de Documentação do projeto, é responsável por manter os relatórios e manuais do projeto.

A.2 Backend

- banco de dados;
- manter hardware;
- manter foguete;
- configuração do ambiente;
- Comunicação Serial entre Hardware e Software;
- Cálculo da velocidade do foguete.

A.3 Frontend

- Manter Foguetes;
- Manter componentes das fases da missão;
- Componentes dos dados expostos durante a execução de uma missão e no histórico da missão;
- Manter hardwares e comandos de hardware.

APÊNDICE B – Documentação da API

B.1 Foguete

Endpoint	/foguetes/id
Método HTTP	PUT
Schema	{ nome* string pesoVazio* number pesoCheio* number id number }
Exemplo Requisição	{ "nome": "string", "pesoVazio": 0, "pesoCheio": 0, "id": 0 }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Foguete PUT success" }
Resposta de Erro	

Tabela 18 – PUT foguetes.

Endpoint	/foguetes/id
Método HTTP	PATCH
Schema	<pre>{ nome* string pesoVazio* number pesoCheio* number id number }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "nome": "string", "pesoVazio": 0, "pesoCheio": 0, "id": 0 }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Foguete PATCH success" }</pre>
Resposta de Erro	

Tabela 19 – PATCH foguetes.

Endpoint	/foguetes/id
Método HTTP	GET
Schema	<pre>{ nome* string pesoVazio* number pesoCheio* number id number }</pre>
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Foguete model instance" } { "nome": "string", "pesoVazio": 0, "pesoCheio": 0, "id": 0 }</pre>
Resposta de Erro	

Tabela 20 – GET foguetes pelo ID.

Endpoint	/foguetes/id
Método HTTP	DELETE
Schema	–
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Foguete DELETE success" }</pre>
Resposta de Erro	

Tabela 21 – DELETE foguetes.

Endpoint	/foguetes
Método HTTP	POST
Schema	<pre>{ nome* string pesoVazio* number pesoCheio* number }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "nome": "string", "pesoVazio": 0, "pesoCheio": 0 }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Foguete model instance" } { "nome": "string", "pesoVazio": 0, "pesoCheio": 0, "id": 0 }</pre>
Resposta de Erro	

Tabela 22 – POST foguetes.

Endpoint	/foguetes
Método HTTP	GET
Schema	<pre>{ nome* string pesoVazio* number pesoCheio* number id number }</pre>
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Array of Foguete model instances" } [{ "nome": "string", "pesoVazio": 0, "pesoCheio": 0, "id": 0 }, { "nome": "string", "pesoVazio": 0, "pesoCheio": 0, "id": 0 }]</pre>
Resposta de Erro	

Tabela 23 – GET foguetes.

B.2 Hardware

Endpoint	/hardware
Método HTTP	POST
Schema	<pre>{ nomeHardware* string baudRate* number portaSerial* string }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "nomeHardware": "string", "baudRate": 0, "portaSerial": "string" }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Hardware model instance" } { "id": "string", "nomeHardware": "string", "baudRate": 0, "portaSerial": "string" }</pre>

Tabela 24 – POST hardware.

Endpoint	/hardware/id
Método HTTP	DELETE
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Hardware DELETE success" }</pre>
Resposta de Erro	

Tabela 25 – DELETE hardware.

Endpoint	/hardware
Método HTTP	GET
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Array of Hardware model instances" } [{ "id": "string", "nomeHardware": "string", "baudRate": 0, "portaSerial": "string", "hardwareComandos": [{ "id": "string", "nome": "string", "valor": 0 }] }]</pre>

Tabela 26 – GET hardware.

B.3 Comandos

Endpoint	/comandos/id
Método HTTP	PUT
Schema	<pre>{ id string nome* string valor* number }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "id": "string", "nome": "string", "valor": 0 }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Comando PUT success" }</pre>

Tabela 27 – PUT comandos.

Endpoint	/comandos/id
Método HTTP	PATCH
Schema	<pre>{ id string nome* string valor* number }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "id": "string", "nome": "string", "valor": 0 }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Comando PATCH success" }</pre>

Tabela 28 – PATCH comandos.

Endpoint	/comandos/id
Método HTTP	GET
Schema	–
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Comando model instance" } { "id": "string", "nome": "string", "valor": 0 }</pre>

Tabela 29 – GET comandos pelo ID.

Endpoint	/comandos/id
Método HTTP	DELETE
Schema	–
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Comando DELETE sucess" }</pre>

Tabela 30 – DELETE comandos.

Endpoint	/comandos
Método HTTP	POST
Schema	<pre>{ nome* string valor* number }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "nome": "string", "valor": 0 }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Comando model instance" } { "id": "string", "nome": "string", "valor": 0 }</pre>

Tabela 31 – POST comandos.

Endpoint	/comandos
Método HTTP	GET
Schema	<pre>{ id string nome* string valor* number }</pre>
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Array of Comando model instances" } [{ "id": "string", "nome": "string", "valor": 0 }, { "id": "string", "nome": "string", "valor": 0 }]</pre>

Tabela 32 – GET comandos.

B.4 Missão

Endpoint	/missao/id
Método HTTP	PUT
Schema	{ id string apogeuEsperado* number nomeMissao* string }
Exemplo Requisição	{ "id": "string", "apogeuEsperado": 0, "nomeMissao": "string" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Missao PUT success" }

Tabela 33 – PUT missao pelo ID.

Endpoint	/missao/id
Método HTTP	PATCH
Schema	{ id string nome* string valor* number }
Exemplo Requisição	{ "id": "string", "apogeuEsperado": 0, "nomeMissao": "string" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Missao PATCH success" }

Tabela 34 – PATCH missão.

Endpoint	/missao/id
Método HTTP	GET
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Missao model instance" } { "id": "string", "apogeuEsperado": 0, "nomeMissao": "string" }</pre>

Tabela 35 – GET missão pelo ID.

Endpoint	/missao/id
Método HTTP	DELETE
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Missao DELETE success" }</pre>

Tabela 36 – DELETE missão.

Endpoint	/missao
Método HTTP	POST
Schema	<pre>{ apogeuEsperado* number nomeMissao* string }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "apogeuEsperado": 0, "nomeMissao": "string" }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Missao model instance" } { "id": "string", "apogeuEsperado": 0, "nomeMissao": "string" }</pre>

Tabela 37 – POST missão.

Endpoint	/missao
Método HTTP	GET
Schema	<pre>{ id string apogeuEsperado* number nomeMissao* string }</pre>
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Array of Missao model instances" } [{ "id": "string", "apogeuEsperado": 0, "nomeMissao": "string" }, { "id": "string", "apogeuEsperado": 0, "nomeMissao": "string" }]</pre>

Tabela 38 – GET missões.

B.5 Dados coletados

B.5.1 GPS

Endpoint	/gps/id
Método HTTP	PUT
Schema	{ latitude* number longitude* number id string }
Exemplo Requisição	{ "latitude": 0, "longitude": 0, "id": "string", }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Gps PUT success" }

Tabela 39 – PUT GPS.

Endpoint	/gps/id
Método HTTP	PATCH
Schema	{ latitude* number longitude* number id string }
Exemplo Requisição	{ "latitude": 0, "longitude": 0, "id": "string", }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Gps PATCH success" }

Tabela 40 – PATCH GPS pelo ID.

Endpoint	/gps/id
Método HTTP	GET
Schema	–
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Gps model instance" } { "latitude": 0, "longitude": 0, "id": "string" }</pre>

Tabela 41 – GET GPS pelo ID.

Endpoint	/gps/id
Método HTTP	DELETE
Schema	–
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Gps DELETE success" }</pre>

Tabela 42 – GET GPS pelo ID.

Endpoint	/gps
Método HTTP	POST
Schema	<pre>{ latitude* number longitude* number }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "latitude": 0, "longitude": 0 }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Gps model instance" } { "latitude": 0, "longitude": 0, "id": "string" }</pre>

Tabela 43 – POST GPS.

Endpoint	/gps
Método HTTP	GET
Schema	{ latitude* number longitude* number }
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	{ "status": "200", "description": "Array of Missao model instances" } [{ "latitude": 0, "longitude": 0, "id": "string" }, { "latitude": 0, "longitude": 0, "id": "string" }]

Tabela 44 – GET GPS.

B.5.2 Peso

Endpoint	/pesos/id
Método HTTP	PUT
Schema	{ peso* number tempo* string(\$date-time) id string }
Exemplo Requisição	{ "peso": 0, "tempo": "2020-11-22T20:04:33.198Z", "id": "string" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Peso PUT success" }

Tabela 45 – PUT peso.

Endpoint	/pesos/id
Método HTTP	PATCH
Schema	<pre>{ peso* number tempo* string(\$date-time) id string }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "peso": 0, "tempo": "2020-11-22T20:04:33.198Z", "id": "string" }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Peso PATCH success" }</pre>

Tabela 46 – PATCH peso.

Endpoint	/pesos/id
Método HTTP	GET
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Peso model instance" } { "peso": 0, "tempo": "2020-11-22T20:06:56.113Z", "id": "string" }</pre>

Tabela 47 – GET peso pelo ID.

Endpoint	/pesos/id
Método HTTP	DELETE
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Peso DELETE success" }</pre>

Tabela 48 – DELETE peso.

Endpoint	/pesos
Método HTTP	POST
Schema	<pre>{ peso* number tempo* string (\$date-time) }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "peso": 0, "tempo": "2020-11-22T20:07:24.779Z" }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Peso model instance" } { "latitude": 0, "longitude": 0, "id": "string" }</pre>

Tabela 49 – POST peso.

Endpoint	/pesos
Método HTTP	GET
Schema	<pre>{ peso* number tempo* string (\$date-time) }</pre>
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Array of Peso model instances" } [{ "peso": 0, "tempo": "2020-11-22T20:07:58.672Z", "id": "string" }, { "peso": 0, "tempo": "2020-11-22T20:07:58.672Z", "id": "string" }]</pre>

Tabela 50 – GET pesos.

B.5.3 Pressão

Endpoint	/pressao/id
Método HTTP	PUT
Schema	{ pressao* number tempo* string(\$date-time) id string }
Exemplo Requisição	{ "pressao": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Pressao PUT success" }

Tabela 51 – PUT pressão.

Endpoint	/pressao/id
Método HTTP	PATCH
Schema	{ pressao* number tempo* string(\$date-time) id string }
Exemplo Requisição	{ "pressao": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Pressao PATCH success" }

Tabela 52 – PATCH pressão.

Endpoint	/pressao/id
Método HTTP	GET
Schema	–
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Pressao model instance" } { "pressao": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }</pre>

Tabela 53 – GET pressão pelo ID.

Endpoint	/pressao/id
Método HTTP	DELETE
Schema	–
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "204", "description": "Pressao DELETE success" }</pre>

Tabela 54 – DELETE pressão.

Endpoint	/pressao
Método HTTP	POST
Schema	<pre>{ pressao* number tempo* string(\$date-time) }</pre>
Exemplo Requisição	<pre>{ "pressao": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z" }</pre>
Resposta de Sucesso	<pre>{ "status": "200", "description": "Pressao model instance" } { "pressao": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }</pre>

Tabela 55 – POST pressão.

Endpoint	/pressao
Método HTTP	GET
Schema	{ pressao* number tempo* string(\$date-time) }
Exemplo Requisição	-
Resposta de Sucesso	{ "status": "200", "description": "Array of Pressao model instances" } [{ "pressao": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }, { "pressao": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }]

Tabela 56 – GET pressão.

B.5.4 Altitude

Endpoint	/altitude/id
Método HTTP	PUT
Schema	{ altitude* number tempo* string(\$date-time) id string }
Exemplo Requisição	{ "altitude": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Altitude PUT success" }

Tabela 57 – PUT altitude.

Endpoint	/altitude/id
Método HTTP	PATCH
Schema	{ altitude* number tempo* string (\$date-time) id string }
Exemplo Requisição	{ "altitude": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Altitude PATCH success" }

Tabela 58 – PATCH altitude.

Endpoint	/altitude/id
Método HTTP	GET
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	{ "status": "200", "description": "Altitude model instance" } { "altitude": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }

Tabela 59 – GET altitude pelo ID.

Endpoint	/altitude/id
Método HTTP	DELETE
Schema	—
Exemplo Requisição	—
Resposta de Sucesso	{ "status": "204", "description": "Altitude DELETE success" }

Tabela 60 – DELETE altitude.

Endpoint	/altitude
Método HTTP	POST
Schema	{ altitude* number tempo* string(\$date-time) }
Exemplo Requisição	{ "altitude": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z" }
Resposta de Sucesso	{ "status": "200", "description": "Altitude model instance" } { "altitude": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }

Tabela 61 – POST altitude.

Endpoint	/altitude
Método HTTP	GET
Schema	{ altitude* number tempo* string(\$date-time) }
Exemplo Requisição	–
Resposta de Sucesso	{ "status": "200", "description": "Array of Altitude model instances" } [{ "altitude": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }, { "altitude": 0, "tempo": "2020-11-22T22:32:32.108Z", "id": "string" }]

Tabela 62 – GET altitude.

APÊNDICE C – Caso de Teste do Software

C.1 Manter Foguete

C.1.1 Criar foguete com sucesso

- **Objetivo:** Cadastrar um foguete no sistema
- **Pré condições:** Inserir nome, peso cheio e peso vazio.
- **Passos:** Para cadastrar um foguete, o usuário pode acessar o "Cadastrar Foguete", ou se for o primeiro acesso o sistema basta seguir o fluxo, pois é a primeira tela.
- **Resultados esperados:** Foguete cadastrado com sucesso!

C.1.2 Criar foguete inválido

- **Objetivo:** Verificar se as validações que impedem a criação do foguete caso falte algum campo obrigatório esteja faltando.
- **Pré condições:** Deixar de inserir alguma das informações obrigatórias ou algum dos dados no formato incorreto.
- **Passos:** Acessar Cadastrar Foguete, em seguida inserir o nome apenas
- **Resultados esperados:** Os campos obrigatórios ficam na cor vermelha e o foguete não é criado.

C.2 Manter Hardware e Comandos

C.2.1 Criar hardware

- **Objetivo:** Criar com sucesso um hardware no sistema com as configurações de comunicação serial específicas para o hardware físico.
- **Pré condições:** Inserir nome do microcontrolador, baudrate e porta serial no formato correto.
- **Passos:** No primeiro acesso ao sistema, essa tela aparecerá logo após o cadastro de um foguete. Para realizar o cadastro de um hardware após o primeiro acesso, basta ir para a página “Novo hardware”.

- **Resultados esperados:** Hardware criado com sucesso.

C.2.2 Criar Comandos

- **Objetivo:** Criar um comando para ser enviado ao hardware.
- **Pré condições:** Ter ao menos um hardware criado. Inserir o nome do comando e o valor a ser enviado para o microcontrolador corretamente.
- **Passos:** Caso a criação do comando seja feita no primeiro acesso, a página de criação de comandos aparecerá logo após cadastrar um hardware. Após isso, o usuário deve acessar a página de “Novo comando”.
- **Resultados esperados:** Comando cadastrado com sucesso.

C.3 Manter Missão

C.3.1 Criar Missão Com Sucesso

- **Objetivo:** Criar uma missão no sistema com sucesso.
- **Pré condições:** Ter um foguete já criado.
- **Passos:** Selecionar criar missão, ou seguir o fluxo do primeiro acesso e aceitar iniciar uma nova missão, e informar o nome e o apogeu esperado.
- **Resultados esperados:** missão criada com sucesso e redirecionado para a página do Dashboard e controle da missão.

C.3.2 Criar Missão Inválido

- **Objetivo:** Verificar se a validação dos campos de uma missão impedem o usuário de prosseguir.
- **Pré condições:** Não inserir um ou mais dados da missão ou inserir algum dos dados no formato incorreto.
- **Passos:** Selecionar criar missão, ou seguir o fluxo do primeiro acesso e aceitar iniciar uma nova missão e informar apenas o nome da missão.
- **Resultados esperados:** O campo que está faltando ficará em vermelho.

C.4 abastecimento

- **Objetivo:** Iniciar o abastecimento do foguete
- **Pré condições:** Ter uma missão criada e iniciada, além dos componentes de hardware devidamente conectados.
- **Passos:** Clicar no botão de iniciar o abastecimento.
- **Resultados esperados:** Início do abastecimento e atualização do gráfico que informa o estado do tanque.
- **Obs:** Condições adversas podem impedir que esse processo seja completo, como falha em algum equipamento eletrônico. Para reduzir o impacto de algum problema externo ao software, a prioridade é armazenar primeiro as informações no banco para depois apresentar aos usuários. Garantindo assim o dado para ser utilizado futuramente.

C.5 Desacoplagem e Despressurização

- **Objetivo:** Verificar se o processo de solicitar início da desacoplagem e despressurização está ocorrendo corretamente no sistema de software.
- **Pré condições:** Ter iniciado a missão e ter concluído o processo de abastecimento.
- **Passos:** Clicar no botão iniciar despressurização e desacoplagem
- **Resultados esperados:** Início da despressurização e desacoplagem e retorno do comando de término da despressurização e desacoplagem pelo hardware.
- **Obs:** Condições adversas podem impedir que esse processo seja completo, como falha em algum equipamento eletrônico.

C.6 Ignição

- **Objetivo:** Verificar se o processo de solicitar o início da Ignição está correto no sistema de software.
- **Pré condições:** Ter iniciado a missão, ter finalizado o abastecimento e a desacoplagem do abastecimento.
- **Passos:** Clicar no botão "Iniciar Ignição"

- **Resultados esperados:** O comando de ignição é enviado ao hardware. Como o processo de ignição pode demorar e não é possível acompanhar, é redirecionado à tela de acompanhamento do voo.

C.7 Acompanhar Voo

- **Objetivo:** Verificar se os dados estão sendo atualizados corretamente
- **Pré condições:** Ter passado pelo processo de criação da missão, iniciar abastecimento, desacoplagem e ignição.
- **Passos:** acessar o dashboard da missão.
- **Resultados esperados:** Os gráficos devem ser atualizados no dashboard para acompanhamento do usuário.

C.8 Acompanhar Pouso

- **Objetivo:** Verificar se os dados estão sendo atualizados corretamente.
- **Pré condições:** Ter passado pelo processo de criação da missão, iniciar abastecimento, desacoplagem e ignição.
- **Passos:** Acessar o Dashboard da missão.
- **Resultados esperados:** Receber as coordenadas do local do pouso e os dados de altitude.

C.9 Visualizar Histórico da Missão

- **Objetivo:** Verificar se os dados da missão foram coletados
- **Pré condições:** Ter uma missão finalizada
- **Passos:** Após uma missão concluída o usuário é redirecionado para essa página, mas ele pode acessar a qualquer momento a partir da página “Histórico de missões”.
- **Resultados esperados:** Acessar todos os Dashboards com os dados coletados na missão.

C.10 Baixar informações (gráfico ou dados)

- **Objetivo:** Verificar se o sistema está baixando corretamente as informações de gráficos e dados.
- **Pré condições:** Acessar uma missão já finalizada ou uma missão em andamento.
- **Passos:** clicar em "Baixar" e em seguida informar o formato do download desejado.
- **Resultados esperados:** Download das informações no formato selecionado pelo usuário com todos os dados solicitados.

APÊNDICE D – Entrevistas

D.1 Entrevistas de elicitação

As entrevistas de elicitação aconteceram na primeira metade do projeto com o objetivo de definir o escopo do produto e levantar insumos para a elaboração da documentação do projeto. Dessas reuniões as seguintes decisões foram resultantes:

- juntar todos os sistemas da aviônica
- parar de depender da aviônica
- poder controlar todos os subsistemas

Em relação à telemetria, os seguintes tópicos foram priorizados:

- automação da ignição
- receber os dados e tratar
- dashboard com informações de fácil leitura e entendimento

Durante as primeiras reuniões , os seguintes itens também foram adicionados como desejáveis, e consequentemente foram priorizados pela equipe para que pudessem ser adicionados ao backlog:

- monitorar altitude em tempo real
- monitorar velocidade em tempo real
- monitorar gps em tempo real

As decisões relacionadas a estrutura partiram de uma discussão mutua entre a equipe de estrutura do projeto e os stakeholders, resultando nos seguintes tópicos a serem priorizados:

- O produto deverá ser algo leve e portátil
- tempo de autonomia mínimo de 1h
- não contar com acesso a internet

D.2 Reuniões de definições de restrições

O próximo setting de reuniões foram reuniões direcionadas a definição de restrições do sistema, e definições dos momentos e necessidades de cada momento do lançamento. As resultantes dessas reuniões foram os seguintes tópicos:

Momento 1 - Foguete em solo Essa fase o foguete ainda está em solo, aqui é realizado o abastecimento e toda preparação para ignição.

Momento 2 - Foguete em voo

Necessidades

- Unificar os controles (Automatizar/centralizar) abertura de válvulas (momento 1)
- Abastecimento (momento 1)
- Ignição (momento 1)
- Abertura do paraquedas (momento 2)
- Telemetria (Tempo real)
- Altitude (momento 2)
- Derivado da pressão e umidade velocidade (momento 2)
- Derivado do acelerômetro gps (momento 2)
- Gps abastecimento (momento 1)
- Balança rotação (momento 2)
- Derivado do acelerômetro
- Pressão atmosférica (momento 2)
- Pressão e umidade
- Coleção de dados de missões anteriores
- Identificar padrão dos dados de uma missão de sucesso e uma missão de falha
- Regressão linear nos dados
- Análise de anomalia

Com a análise e a priorização das demandas estabelecidas pelos usuários durante as reuniões de definição de escopo e restrições de projeto, foram iniciados as elaborações e construções de protótipos de baixa e média fidelidade, que podem ser conferidos na Sessão 3.1.2.2 deste relatório. A elaboração dos protótipos se deu de forma conjunta e colaborativa com os Stakeholders, visto que continuamente as alterações eram validadas e aprovadas por ambas as equipes.

Além disso, reuniões de alinhamento e contextualização foram também recorrentes para que o conhecimento entre ambas as partes pudesse ser horizontalizado e não houvessem duvidas ou lacunas ao discutir assuntos pertinentes a execução do projeto.

Abaixo, como um exemplo de anotações feitas nesse tipo de reunião, a pauta de reunião de contextualização de telemetria:

APÊNDICE E – Diagrama de Sequencias

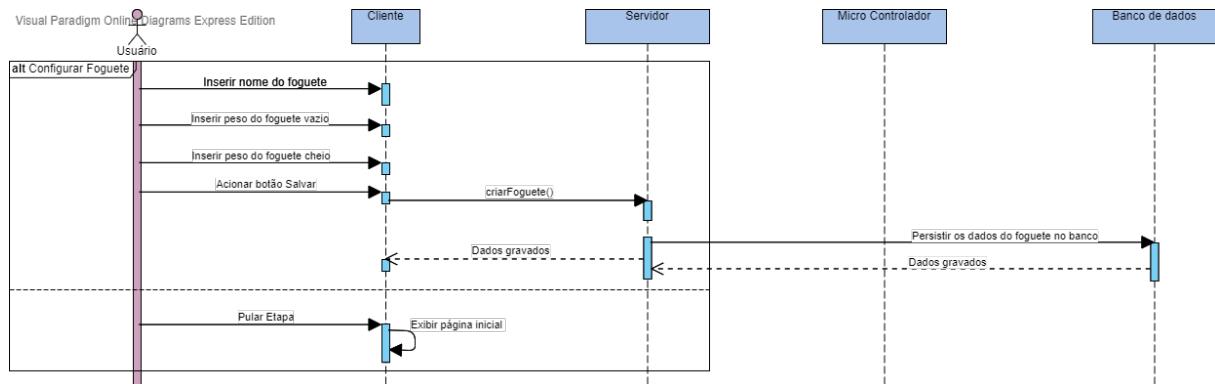


Figura 106 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de foguetes. Fonte: Autor

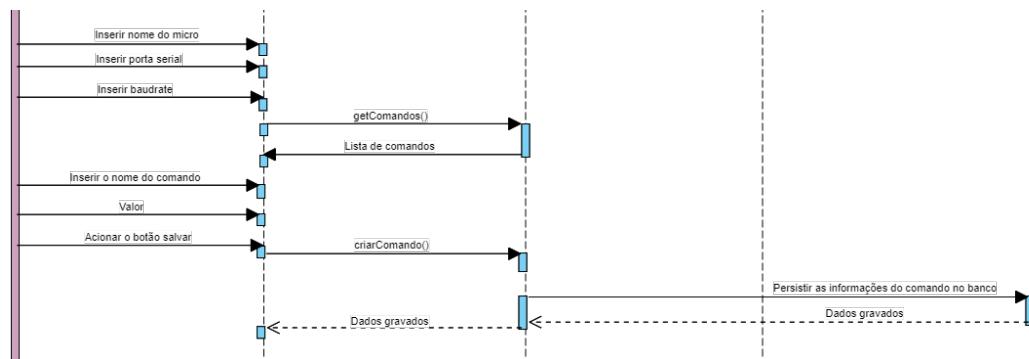


Figura 107 – Diagrama de sequencia representando o cadastro de micro. Fonte: Autor

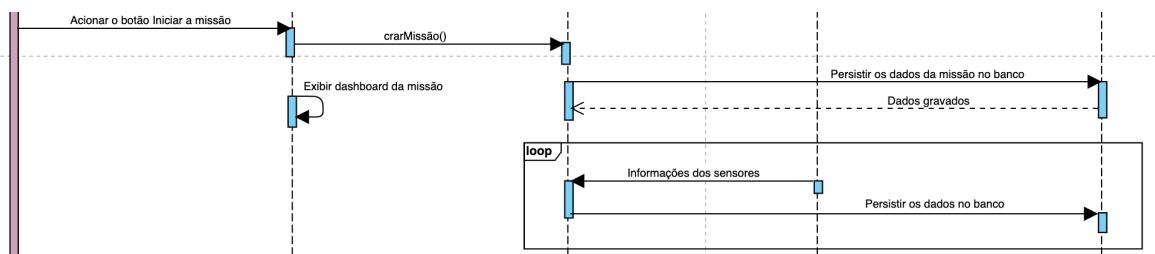


Figura 108 – Diagrama de sequencia representando o processo de iniciar a missão. Fonte: Autor

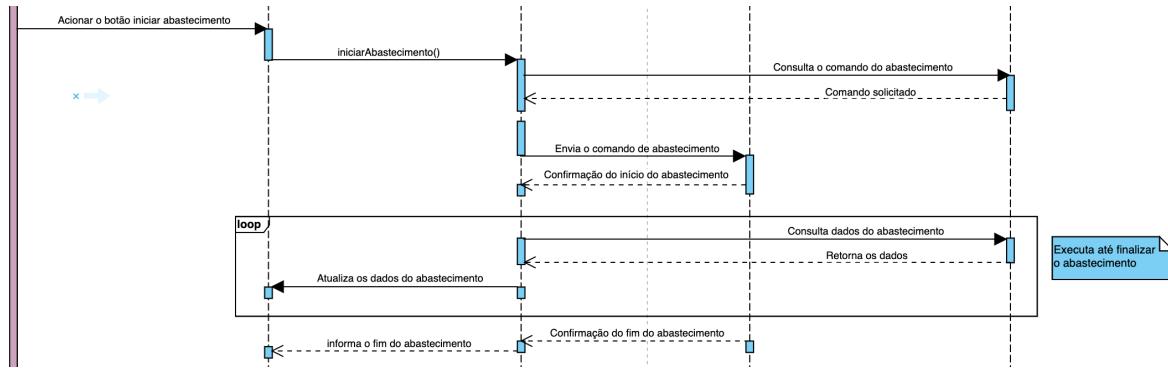


Figura 109 – Diagrama de sequencia representando o processo de abastecimento. Fonte: Autor

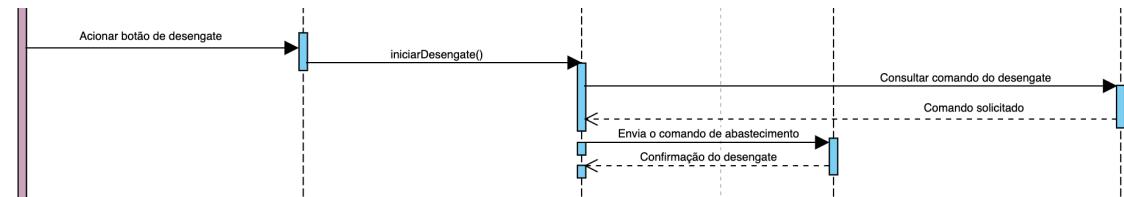


Figura 110 – Diagrama de sequencia representando o processo de desengate. Fonte: Autor

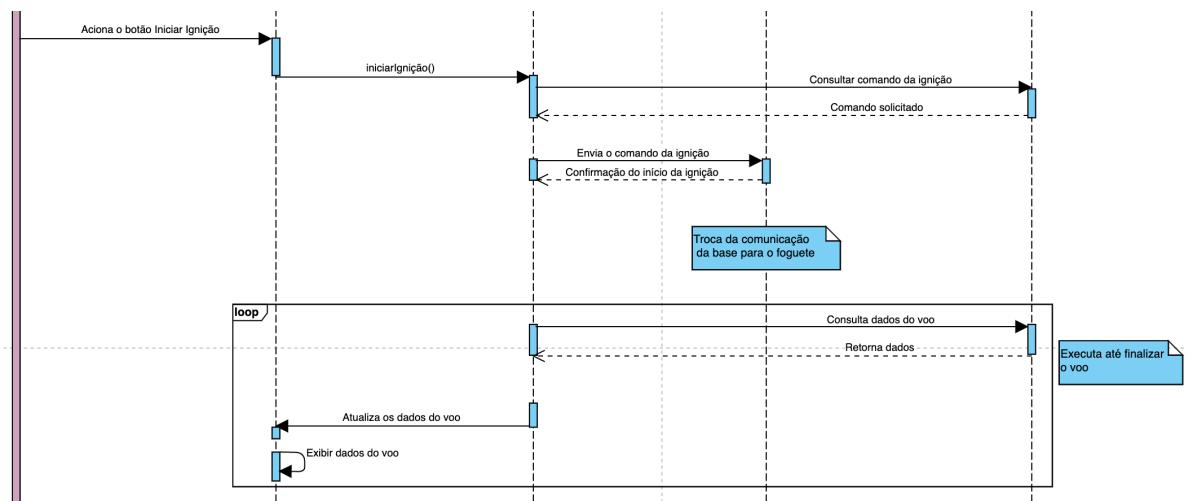


Figura 111 – Diagrama de sequencia representando o processo da ignição. Fonte: Autor

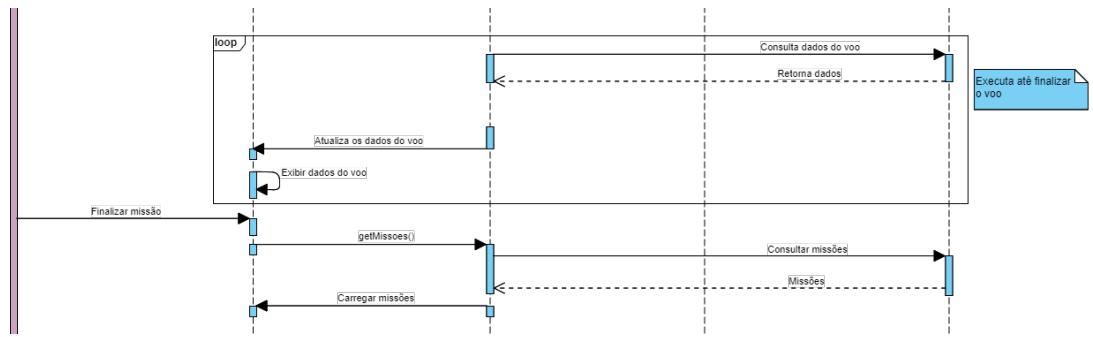


Figura 112 – Diagrama de sequencia representando o processo de finalizar a missão. Fonte: Autor

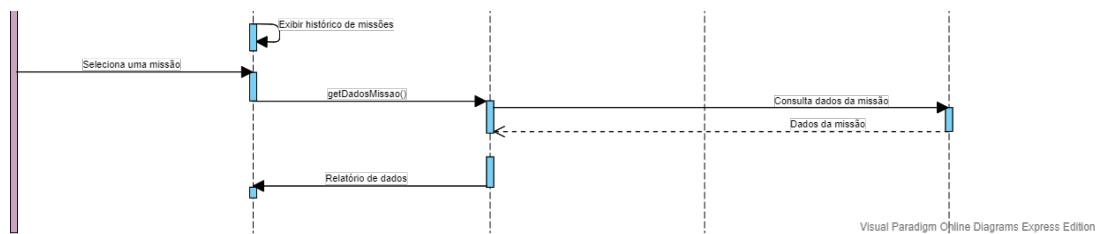


Figura 113 – Diagrama de sequencia representando o processo histórico. Fonte: Autor

APÊNDICE F – Tomadas de Decisões - Software

F.1 Problemas na Solução com Machine Learning

Antes de criar ou implantar uma *feature* de *machine learning*, deve-se levar em consideração alguns pontos cruciais para a criação e especificação do produto. Desenvolver um produto de *Machine Learning* (ML) demanda um processo mais complexo e requer mais processamento de *hardware*. Portanto, levamos em consideração algumas ponderações sobre as necessidades do cliente e quais as melhores soluções a serem adotadas e, por fim, verificar a necessidade de utilizar ML para resolver esse problema ([SHAMS, 2018](#)).

Primeiro, entendemos que, em um clássico programa, é necessário especificar as regras sobre o que deverá ser feito. Já para ser necessário aplicar ML, essas regras são tantas que não são escaláveis para resolver em um produto comum. A utilização de um algoritmo ou do poder de ML dá-se quando as regras não são precisas ou não são conhecidas, mas temos muitos dados e respostas. Consequentemente, para desenvolver esse produto, é necessário ter um grande problema a ser resolvido, com muitas regras desconhecidas, tantas que se torna difícil implementar usando um software comum ([AMERSHI et al., 2019](#)).

Quando se deseja desenvolver um produto, é necessário ter em mente duas coisas principais:

- Qual o problema a ser resolvido e quais as respostas esperadas?
- Temos acesso a muitos dados?

Se conseguimos responder corretamente essas duas questões, desenvolver um produto de ML é a melhor solução. Nesse projeto, a primeira questão é facilmente respondida, mas a quantidade de dados e informações inviabiliza o desenvolvimento de um ML, pois o produto de ML é um ciclo, onde no início de tudo, é utilizado **dados**, com esses dados conseguimos fazer boas **previsões**. Essas previsões melhoram a **experiência do cliente**, que acabam gerando mais **tráfego** e utilização, que implica em ter mais dados e consequentemente mais informações ([YANDONG; KEZHENG, 2005](#)). A falta de dados para iniciar esse processo, inviabiliza a utilização desse tipo de solução nesse projeto.

Existem outros quatro fatores importantes que foram levados em consideração na concepção e *design* desse produto:

- **Lógica muito complexa:** A necessidade dos clientes desse projeto, não possui uma lógica complexa a ponto de não ser possível resolver com um software comum. As regras são conhecidas e facilmente manipuladas.
- **Rápida escalabilidade:** Esse projeto possui um problema complexo, mas é um problema pequeno, não possui muitos dados complexos e a utilização não é tão frequente quanto o necessário para utilizar ML. (ex: O Diário Oficial é publicado diariamente, às vezes até mais uma vez por dia, e possui uma série de informações diferentes em cada um, portanto este é um exemplo de problema que necessita de uma rápida escalabilidade).
- **Requer personalização especializada:** Uma das vantagens de utilizar ML é o seu poder de identificar padrões e regras específicas de cada necessidade em um cenário com inúmeras necessidades. Neste projeto as necessidades são mensuráveis e poucas especificidades relacionadas à elas.
- **Adaptação em tempo real:** Por último e não menos importante, é importante verificar se o problema identificado hoje poderá ser modificado no futuro. Neste projeto, identificamos que as necessidades podem ser modificadas de acordo com os componentes de *hardware* e sensor, o edital e as regras da competição, portanto é um problema que necessita de uma adaptação em tempo real.

Após analisar esses pontos, entendemos que a solução desse projeto não precisa ser - e de fato não é recomendado que seja - resolvida com o uso de ML. Ao primeiro momento, o objetivo será focar em coletar e iniciar o armazenamento de dados para que futuramente possa ser inserido uma *feature* de ML para resolver problemas mais complexos. A implantação de um ML no projeto no momento atual não se faz necessária e tem alto custo de processamento. Ela pode atender as necessidades do cliente, mas é uma ferramenta muito poderosa para ser aplicado no problema atual.

APÊNDICE G – Diagrama de blocos

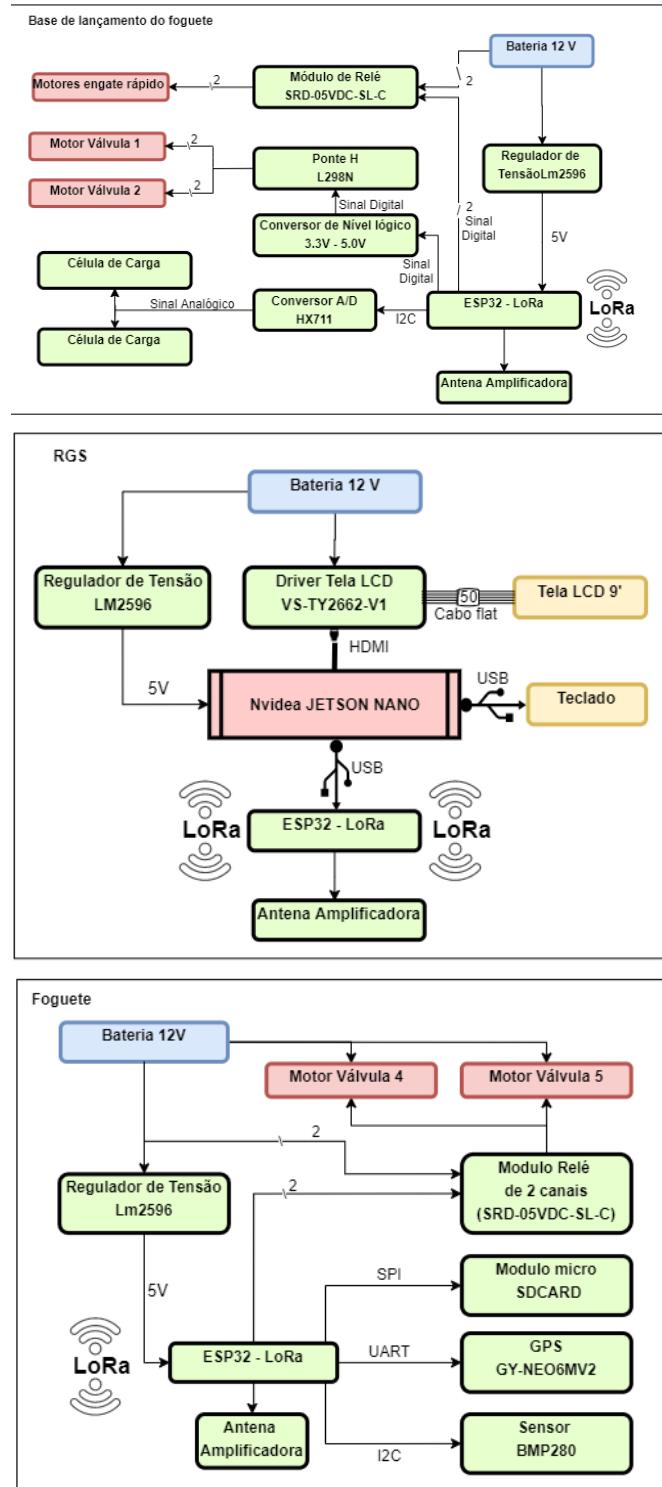


Figura 114 – Diagrama de blocos do projeto. Fonte: Autor

APÊNDICE H – Diagramas esquemáticos

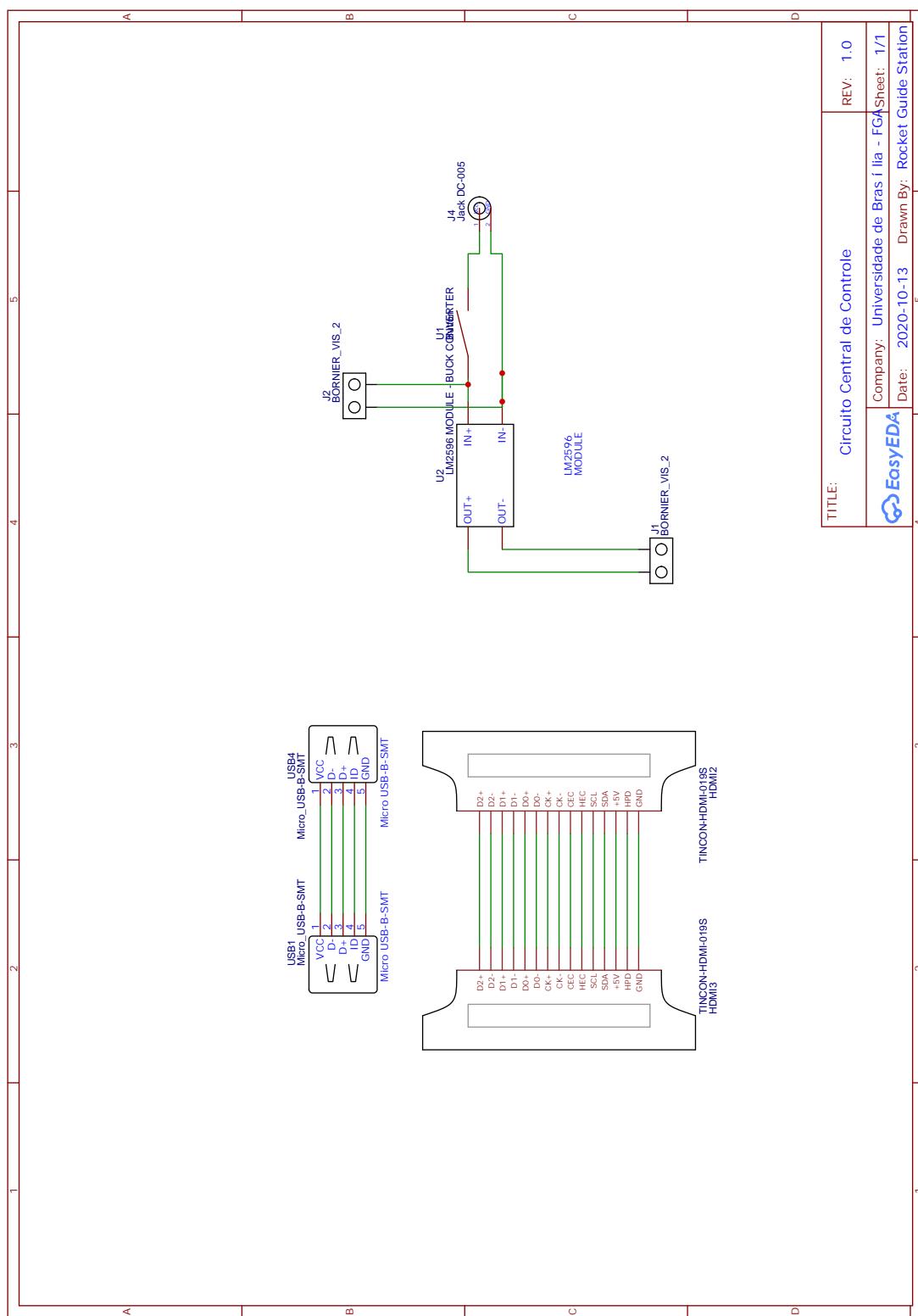


Figura 115 – Diagrama esquemático circuito da maleta . Fonte: Autor

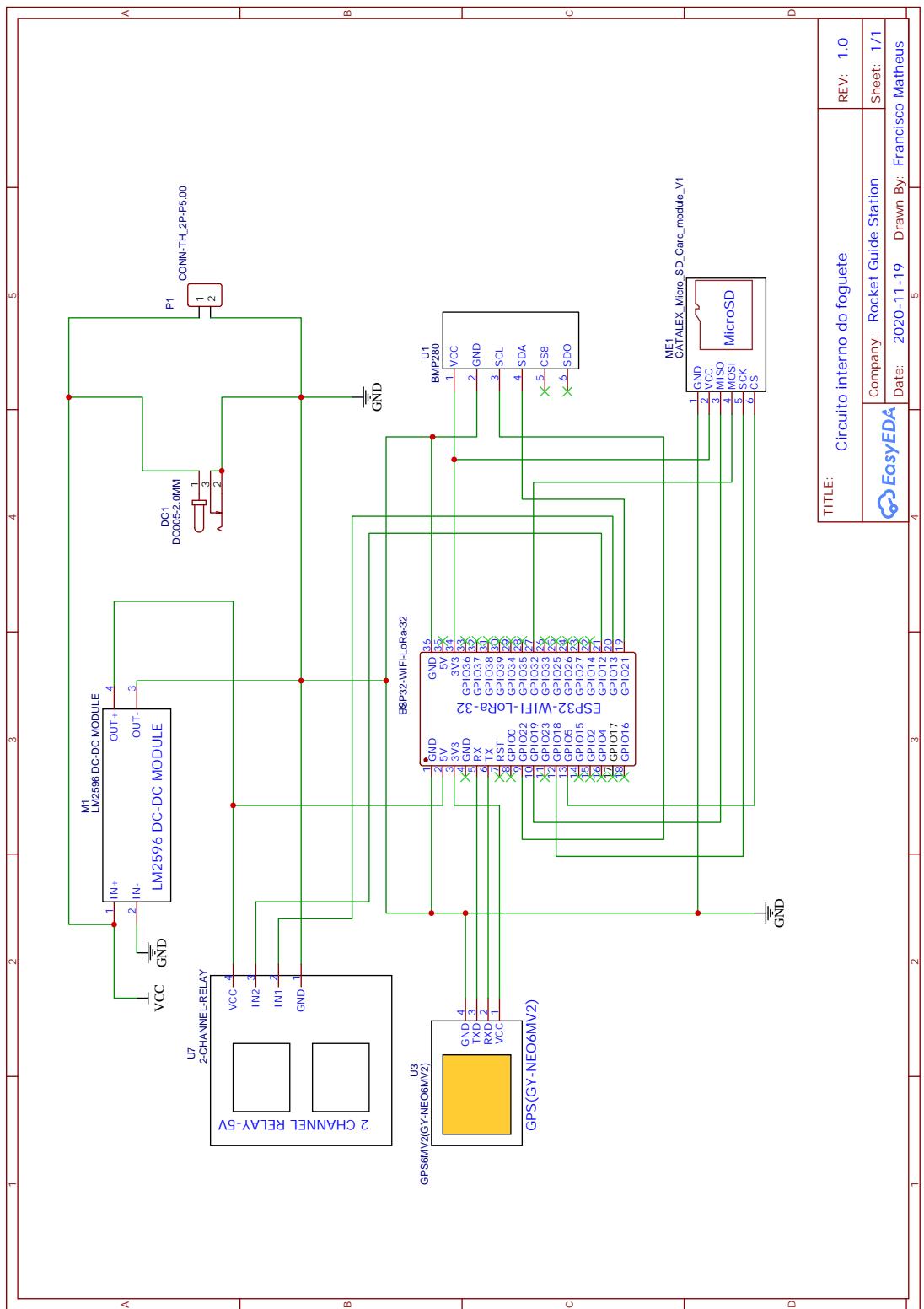


Figura 116 – Diagrama esquemático circuito do foguete . Fonte: Autor

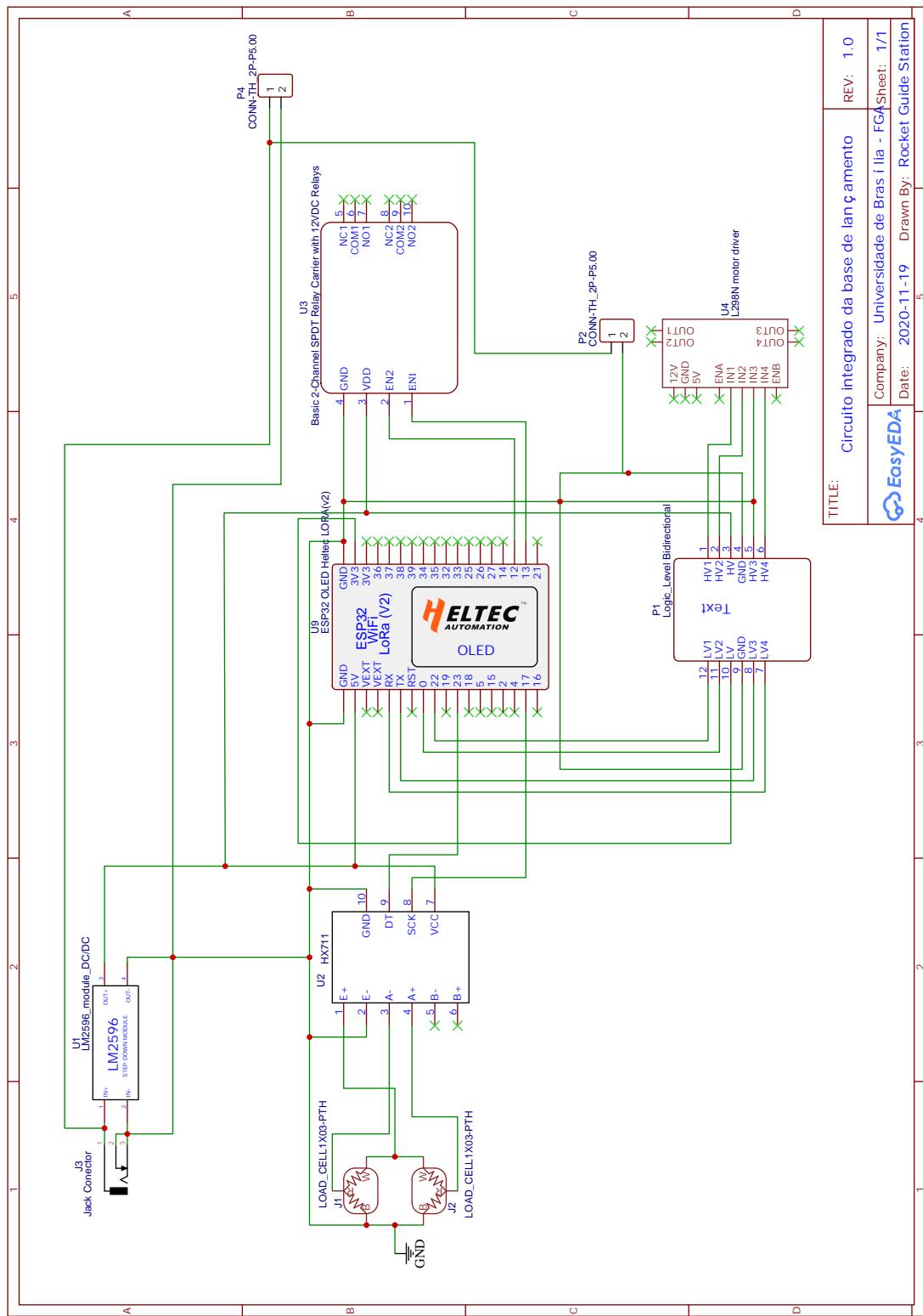


Figura 117 – Diagrama esquemático circuito da base de lançamento . Fonte: Autor

APÊNDICE I – Diagramas elétricos

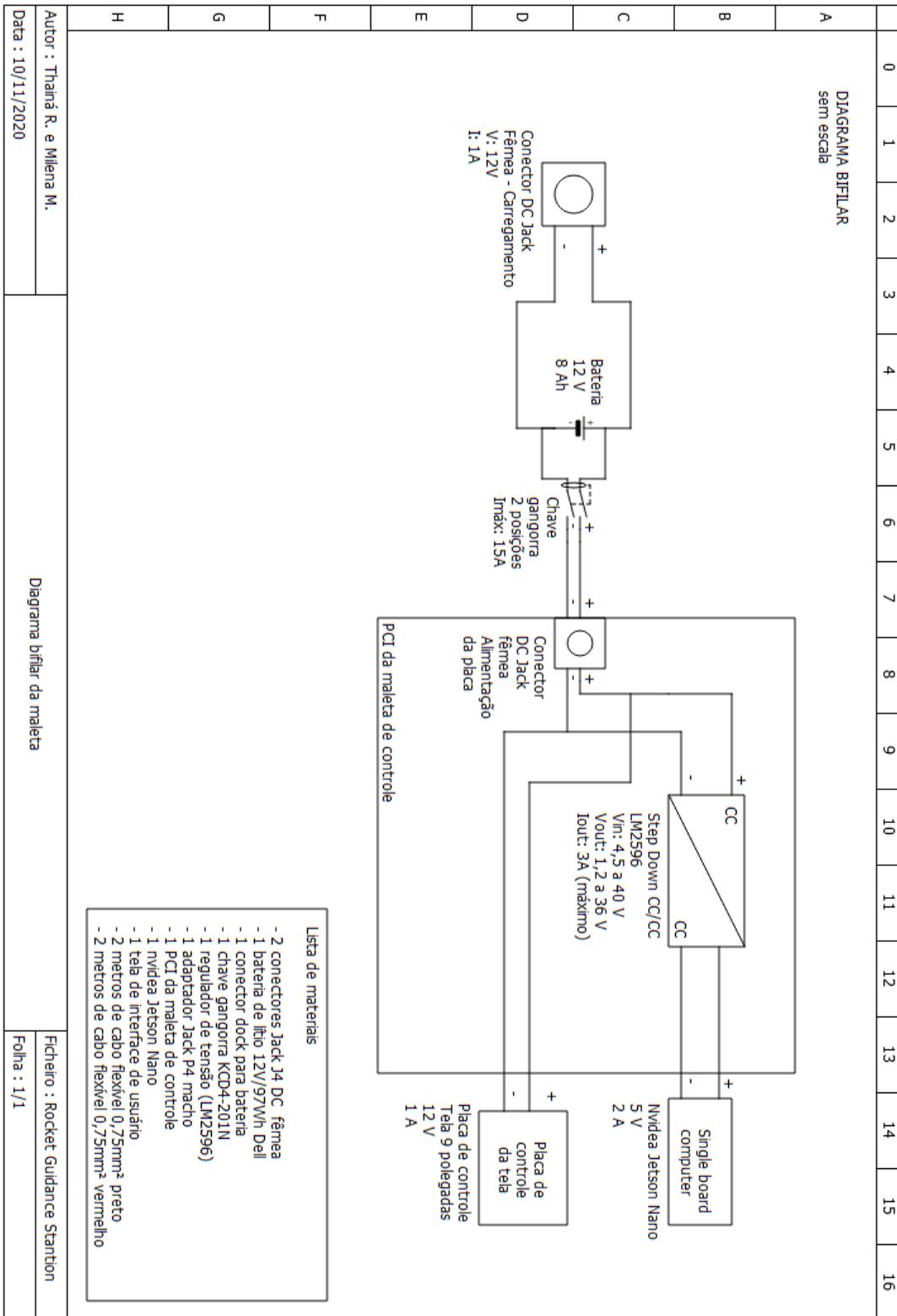


Figura 118 – Diagrama bifilar GCS

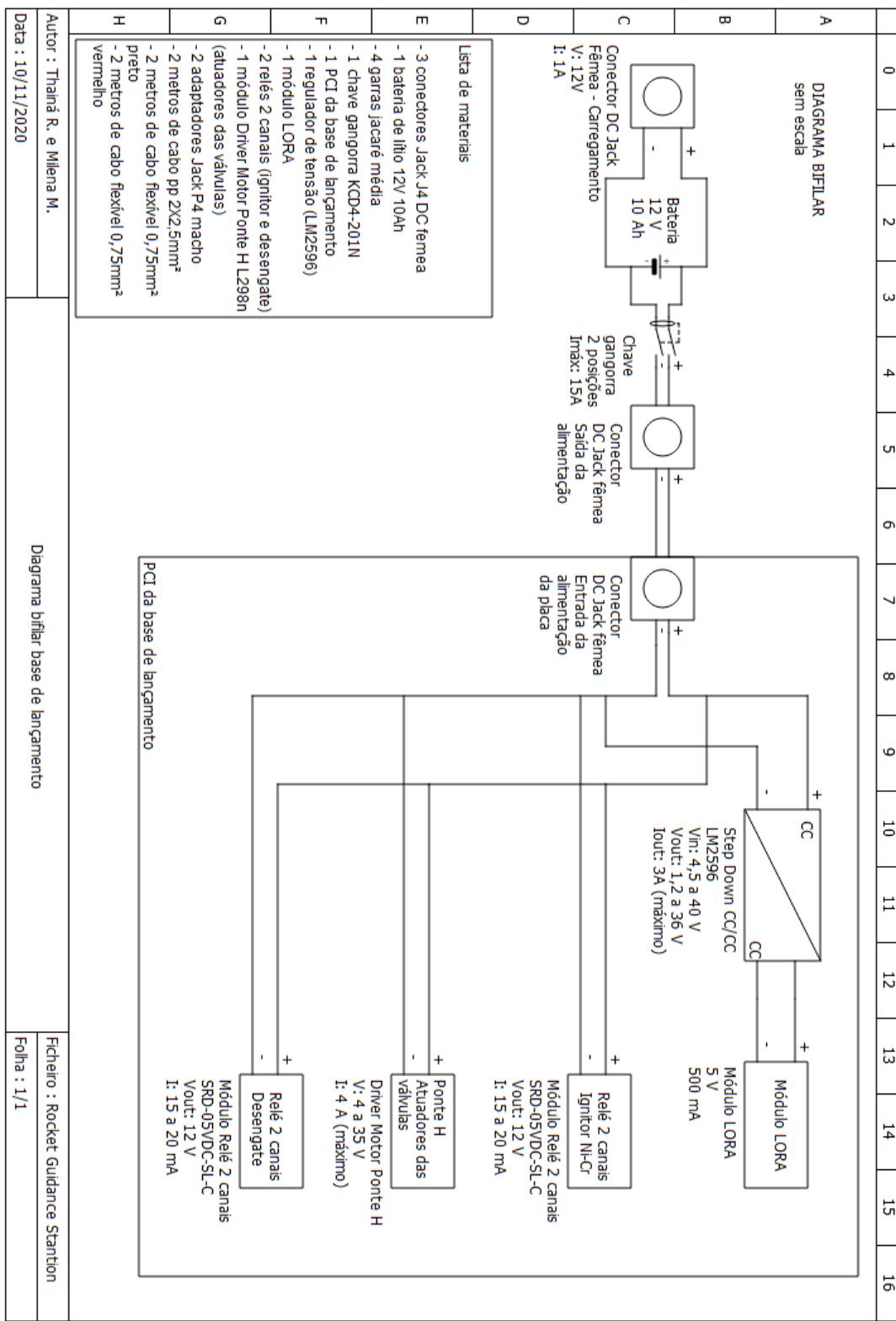


Figura 119 – Diagrama bifilar da base de lançamento

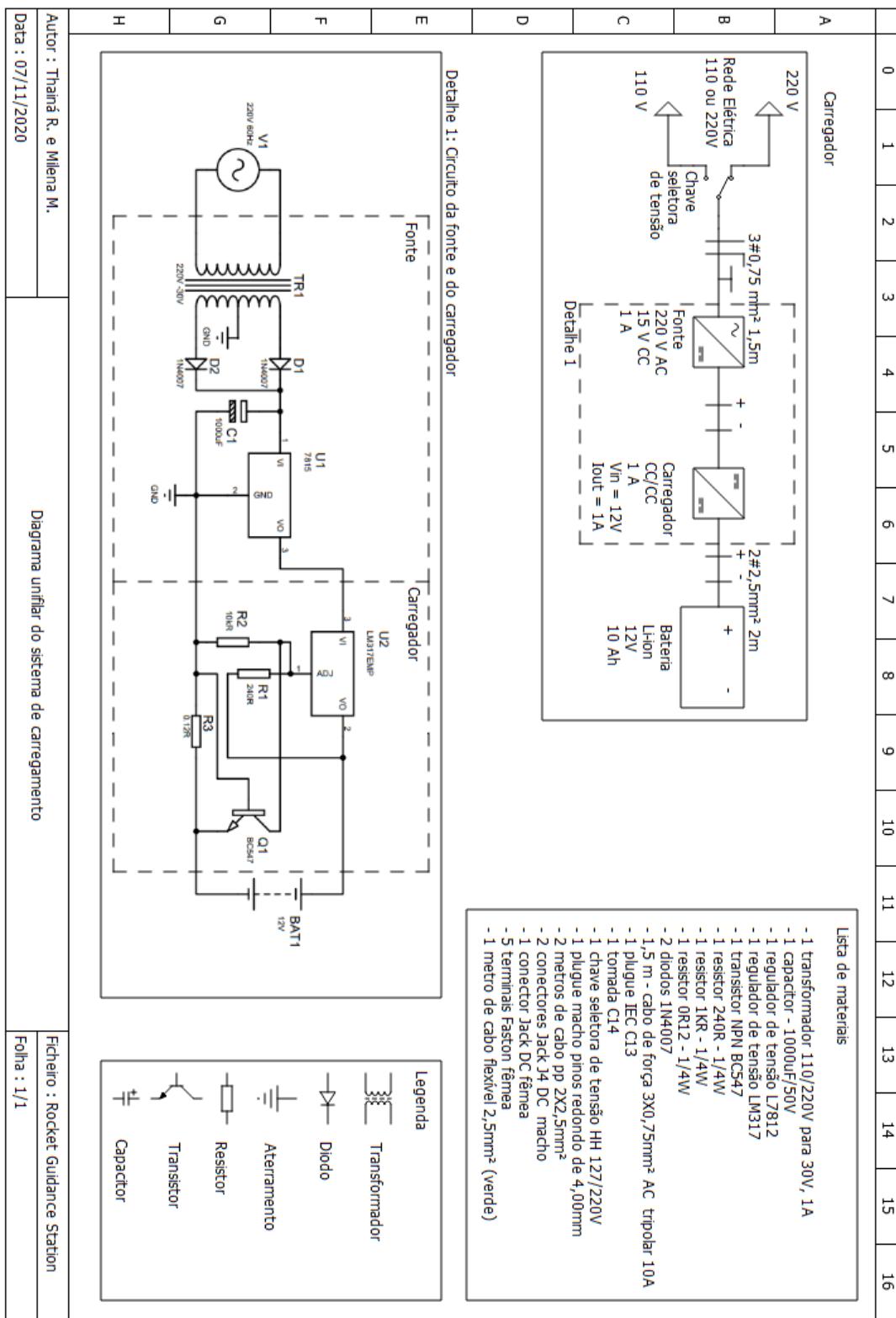
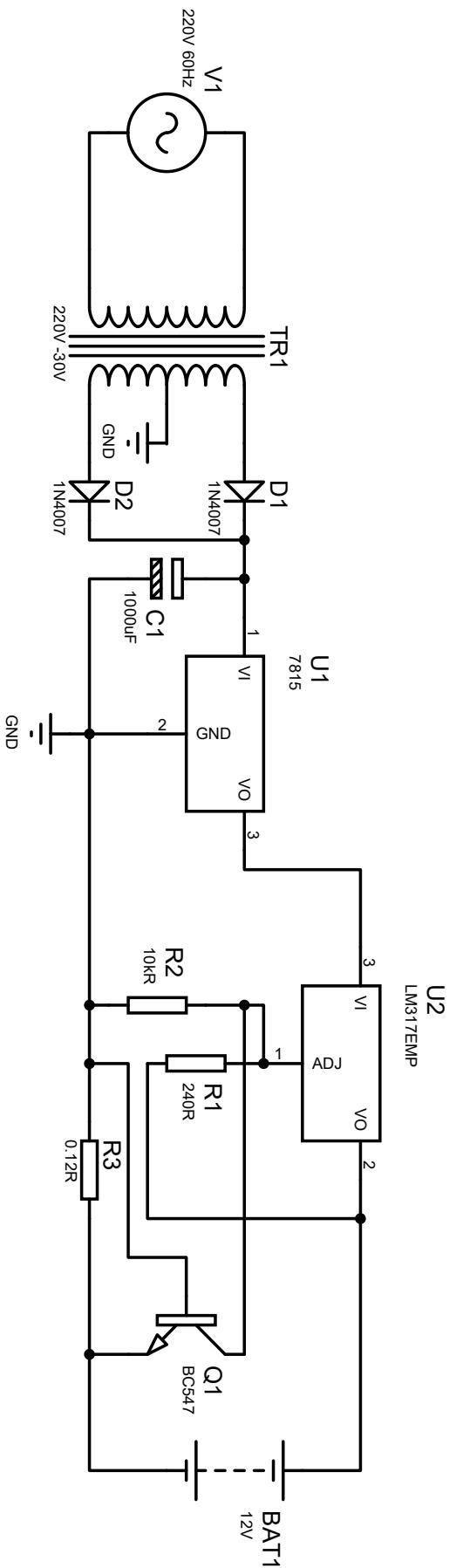


Figura 120 – Diagrama unifilar do sistema de carregamento.



FILE NAME:	Fonte e Carregador de Bateria
DESIGN TITLE:	
PATH:	
BY: Projeto Rocket Guide Station	REV: INICIAL
DATE: 23/10/2020	PAGE: 1 of 1
TIME: 19:02:30	9

APÊNDICE J – Esboço e CAD iniciais

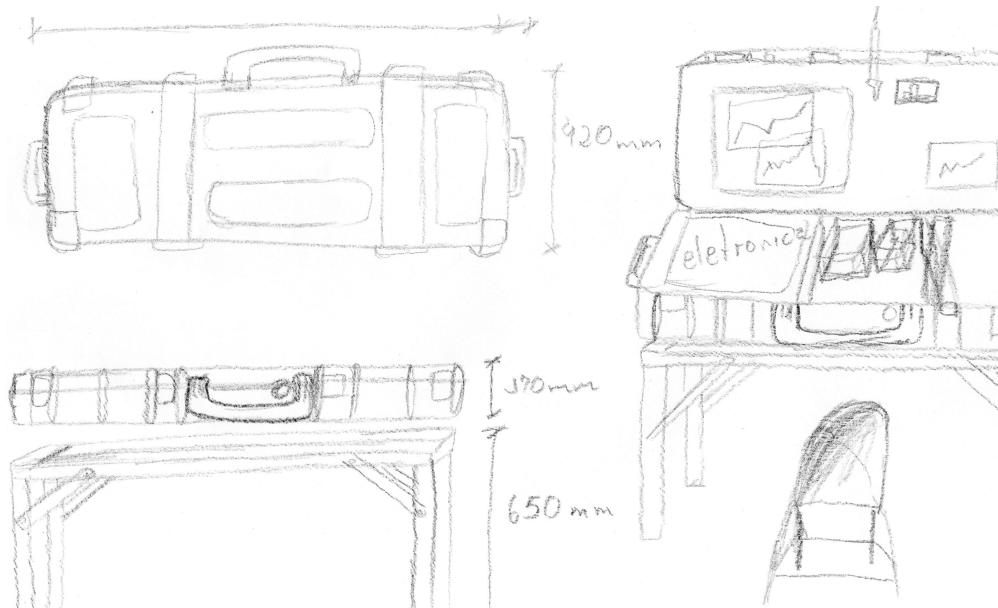
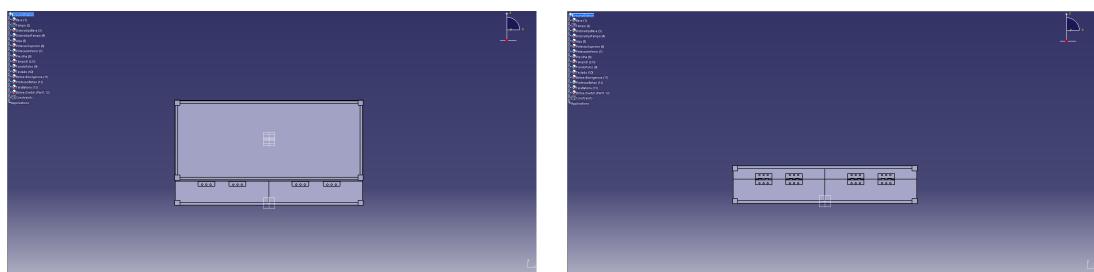


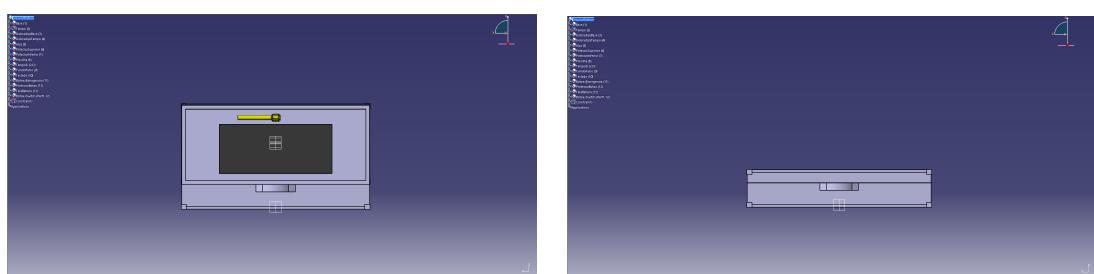
Figura 121 – Esboço inicial



(a) aberto

(b) fechado

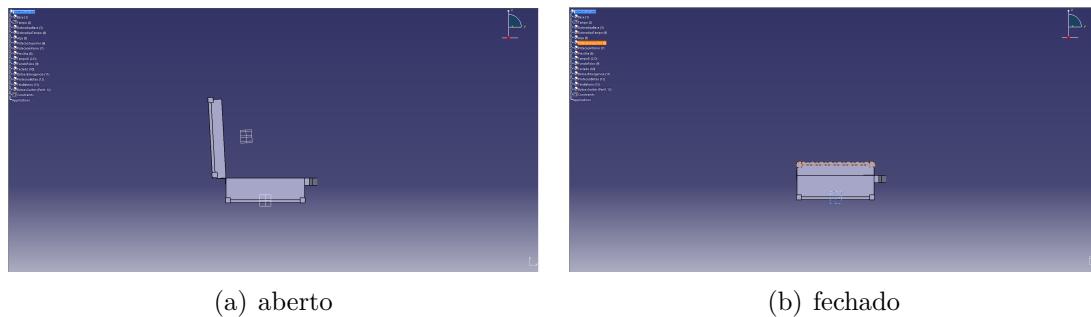
Figura 122 – CAD da maleta verso



(a) aberto

(b) fechado

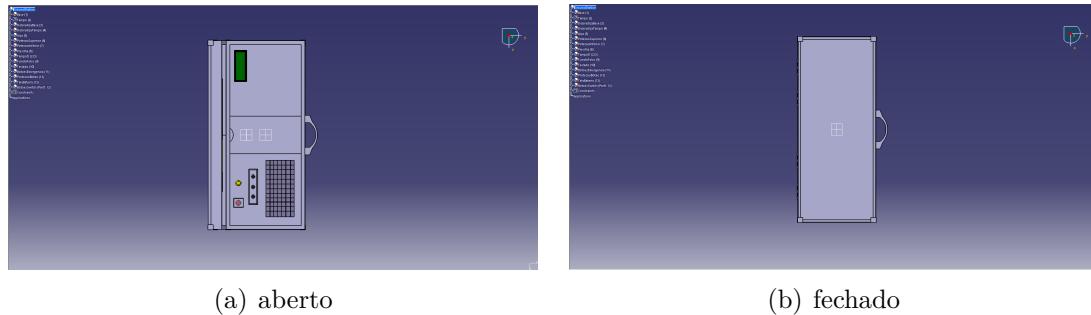
Figura 123 – CAD's da maleta frente



(a) aberto

(b) fechado

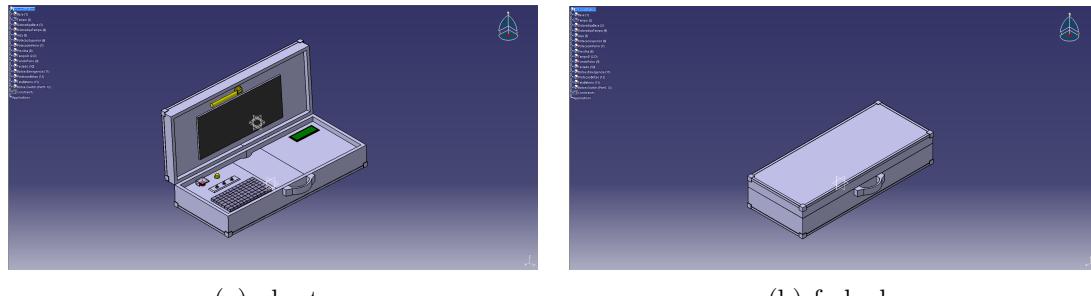
Figura 124 – CAD's da maleta lateral



(a) aberto

(b) fechado

Figura 125 – CAD's da maleta superior

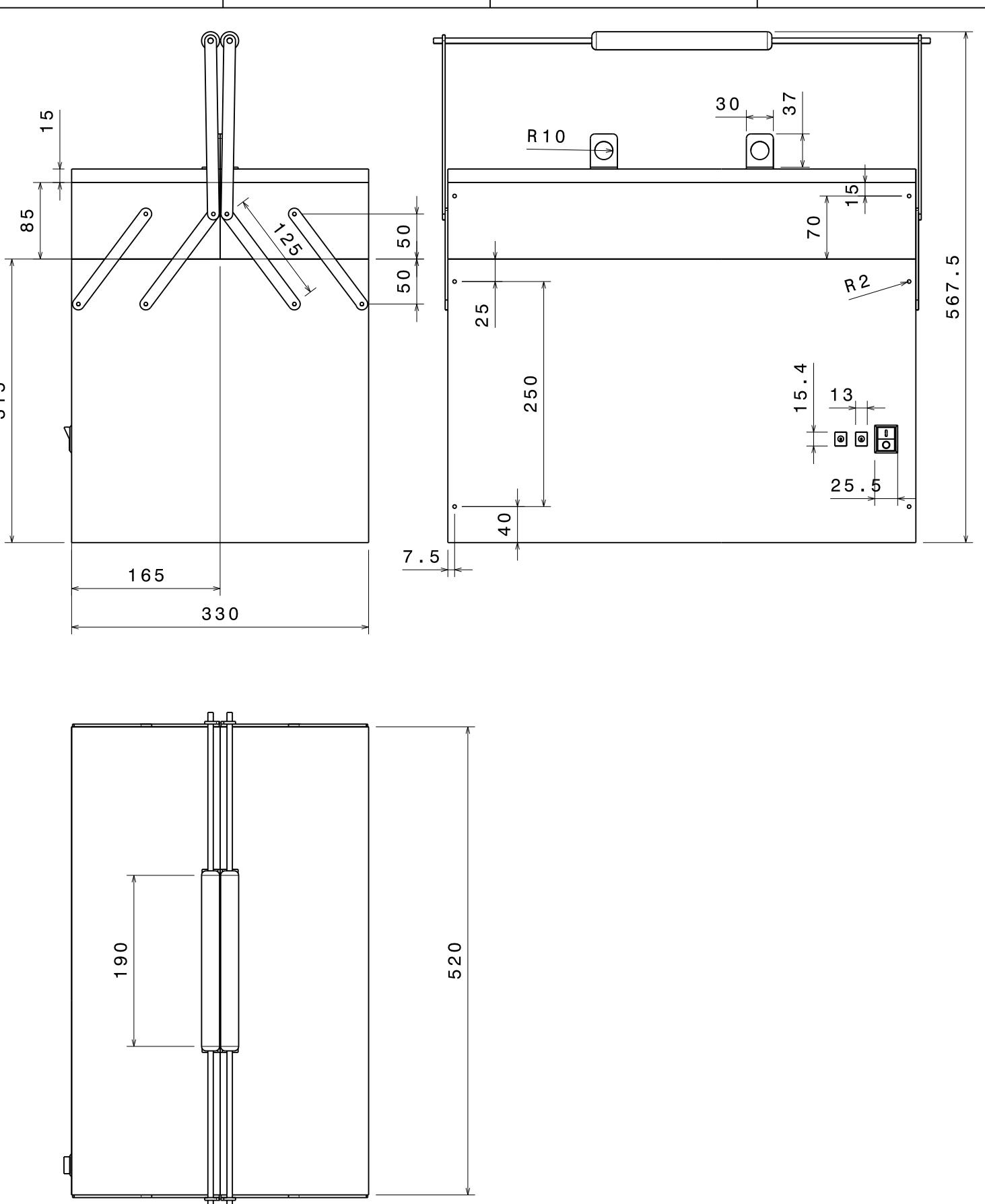


(a) aberto

(b) fechada

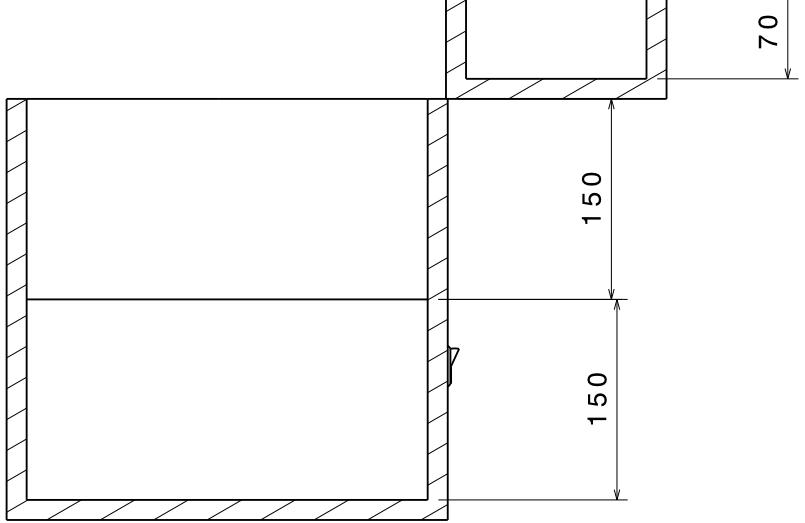
Figura 126 – CAD's da maleta isométrica

APÊNDICE K – Desenhos Técnicos

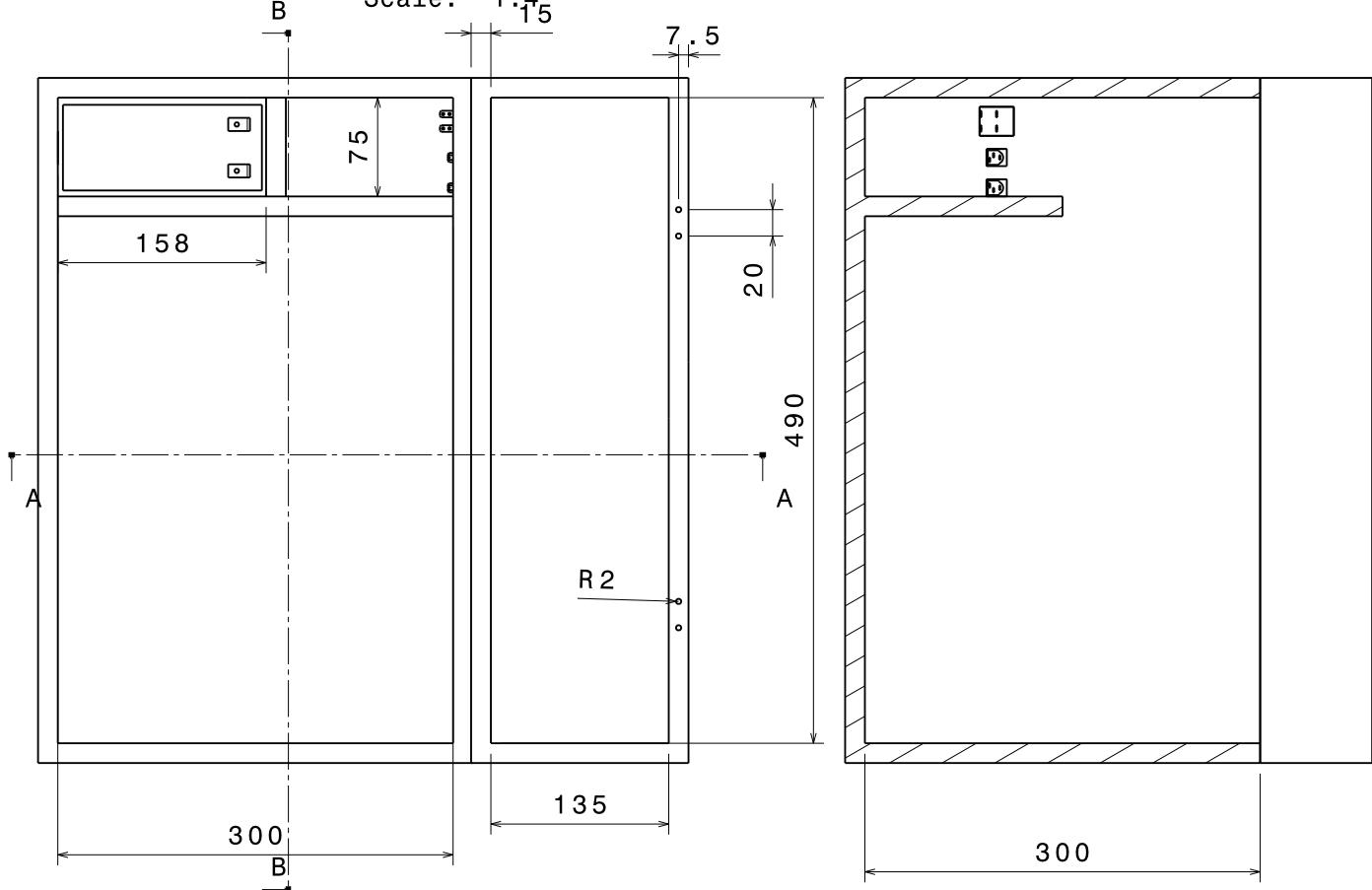


DESENHADO POR ArthurAlmeida		MALETA DE ALIMENTAÇÃO	I	-
DATA 20/11/2020			H	-
CHECADO POR LuisaProspero		PROJETO INTEGRADOR 2	G	-
DATA 21/11/2020			F	-
TAMANHO A3		NÚMERO DO DESENHO 1	E	-
ESCALA 1:4	mm		D	-
PÁGINA 1/2			C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Section view A-A
Scale: 1:4



DESENHADO POR
Artur Almeida
DATA
20/11/2020

CHECADO POR
Luisa Prospero
DATA
21/11/2020

TAMANHO
A3

ESCALA
1:4

UNIDADE
mm

MALETA DE ALIMENTAÇÃO

PROJETO INTEGRADOR 2

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

1 2 3 4

H

G

L

B

A

H

G

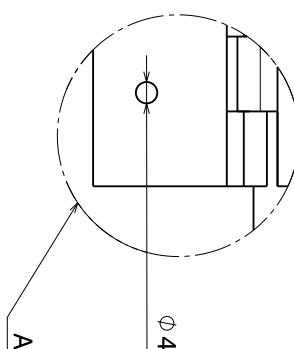
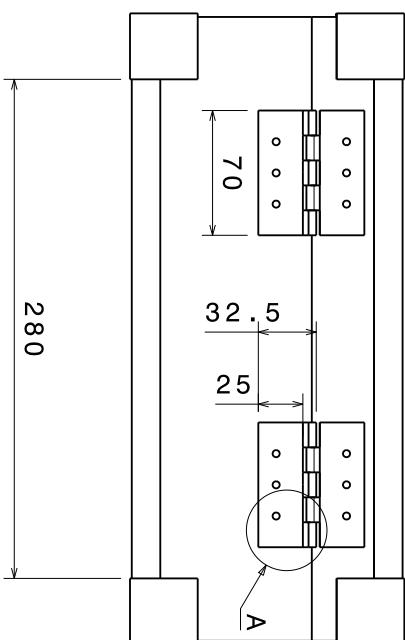
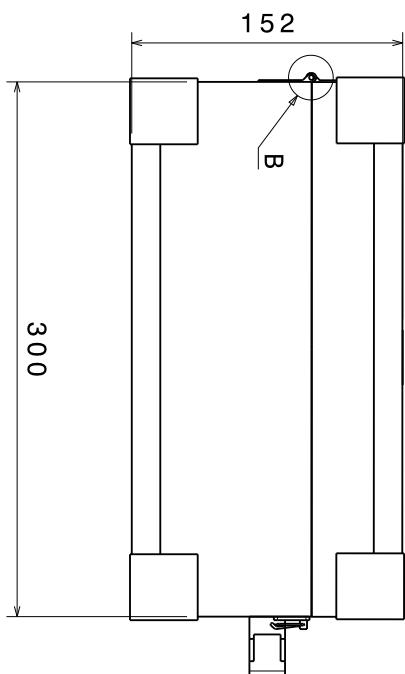
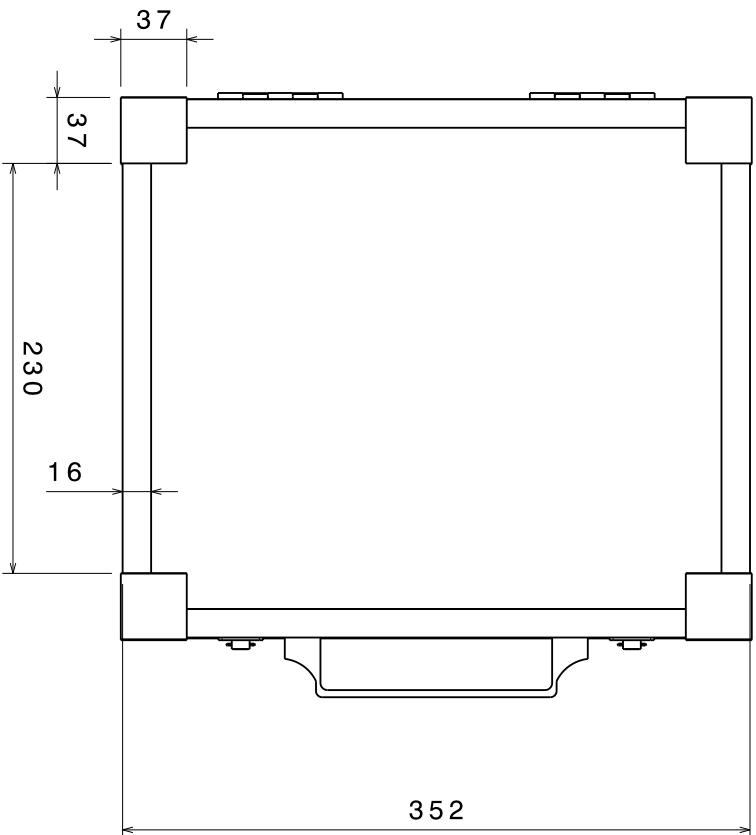
M

D

C

B

A



DESENHADO POR:

Arthur Almeida

DATA:

18/11/2020

CHECADO POR:

Luisa Prospero

DATA:

20/11/2020

TAMANHO
A3

ESCALA
1:3

UNIDADE
mm

NÚMERO DO DESENHO
PROJETO INTEGRADOR 2

PÁGINA
1 / 3

Este desenho é nossa propriedade; não pode ser reproduzido sem nosso consentimento.

MALETA GCS

I
H
G
F
E
D
C
B
A

—
—
—
—
—
—
—
—
—

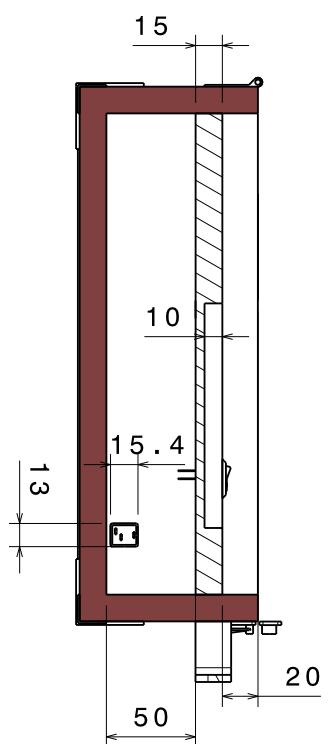
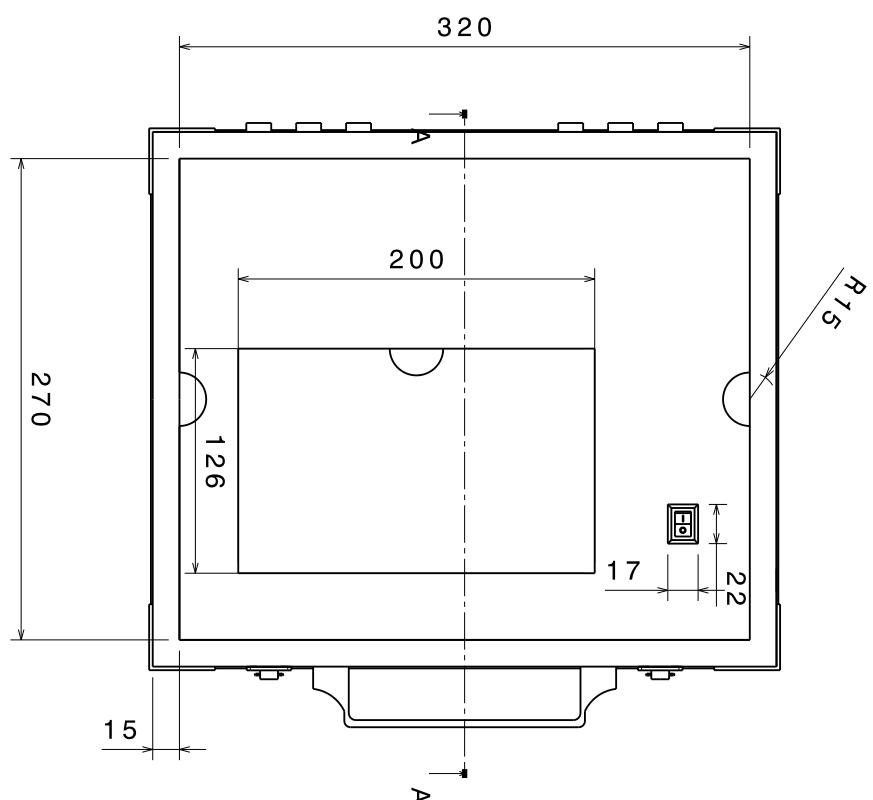
1
2
3
4

1
2
3
4

1
2
3
4

1
2
3
4

H G



DESENHADO POR:

Arthur Almeida

DATA:

18/11/2020

CHECADO POR:

Luisa Prospero

DATA:

20/11/2020

TAMANHO:

A3



ESCALA:

mm

MALETA GCS

UNIDADE:

NUMERO DO DESENHO:

2

PÁGINA:

2 / 3

1

2

3

4

Este desenho é nossa propriedade; não pode ser reproduzido sem nosso consentimento.

B A

H G L M D C B A

1 2 3 4

H G

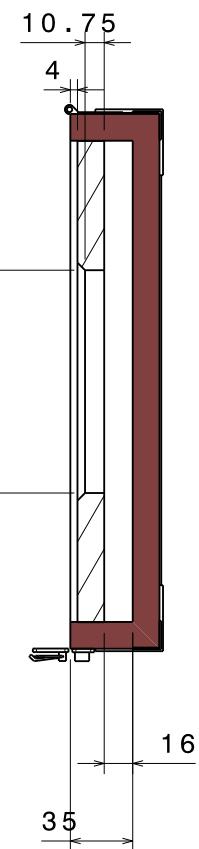
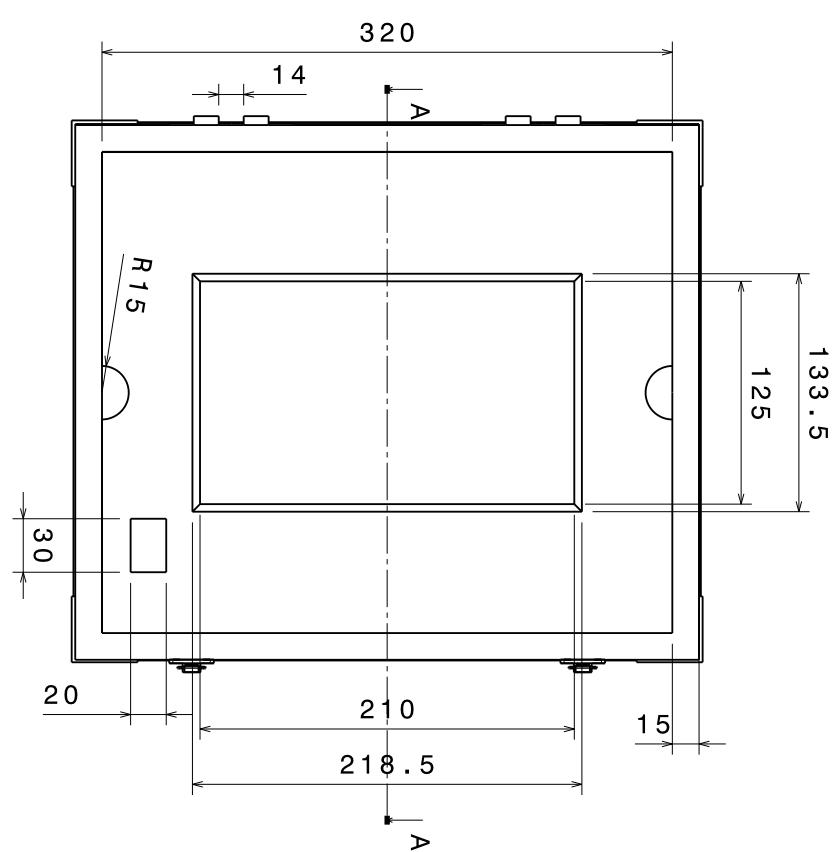
H G

L M

D C

B

A



DESENHADO POR:

Arthur Almeida

DATA:

18/11/2020
CHECADO POR:
Luisa Prospero

DATA:

20/11/2020

TAMANHO:
A3

ESCALA:

1:3 mm

MALETA GCS

UNIDADE



NUMERO DO DESENHO

3

PÁGINA

3/3

1

2

3

4

Este desenho é nossa propriedade; não pode ser reproduzido sem nosso consentimento.

B

A

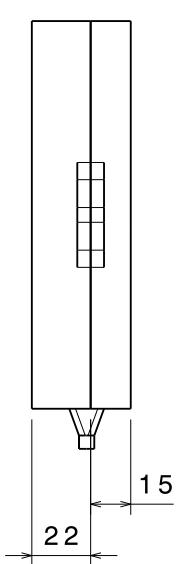
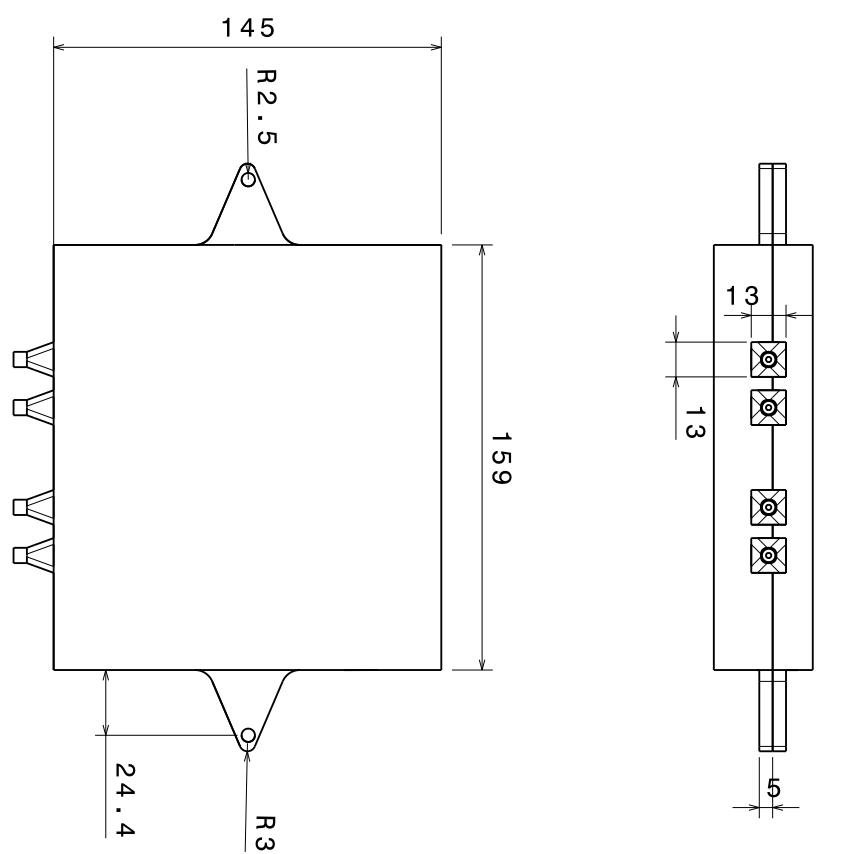
1 2 3 4

H

G

H

G



DESENHADO POR	Arthur Almeida
DATA	20/11/2020
CHECADO POR	Luisa Prospero
DATA	21/11/2020
TAMANHO	A3
ESCALA	1:2
UNIDADE	mm
NÚMERO DO DESENHO	1
PÁGINA	1 / 1

PROJETO INTEGRADOR 2

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

A

B

H

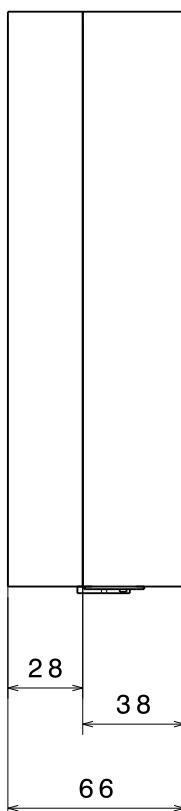
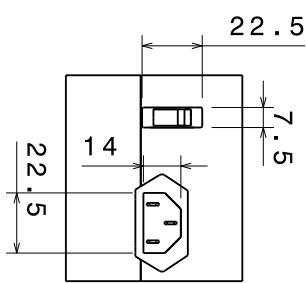
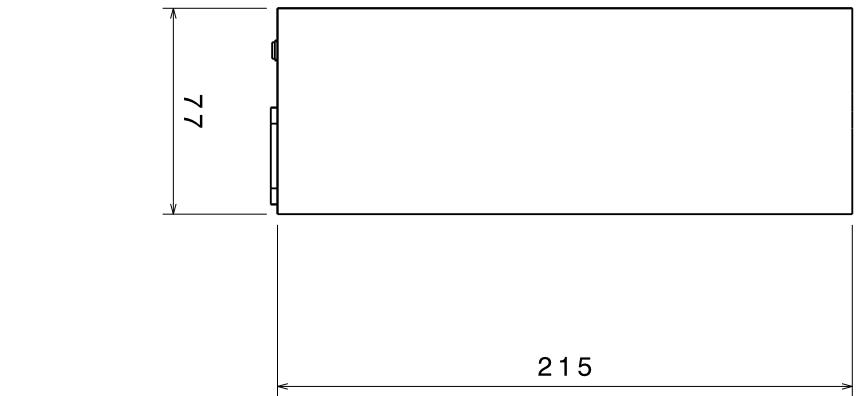
A

B

H

1 2 3 4

1 2 3 4

H
G
F
E
D
C
B
A

DESENHADO POR	Arthur Almeida	I	-
DATA	20/11/2020	H	-
CHECADO POR	Luisa Prospero	G	-
DATA	21/11/2020	F	-
TAMANHO	A3	E	-
ESCALA		D	-
UNIDADE	mm	C	-
NÚMERO DO DESENHO	1	B	-
		PÁGINA	1 / 1
		A	-

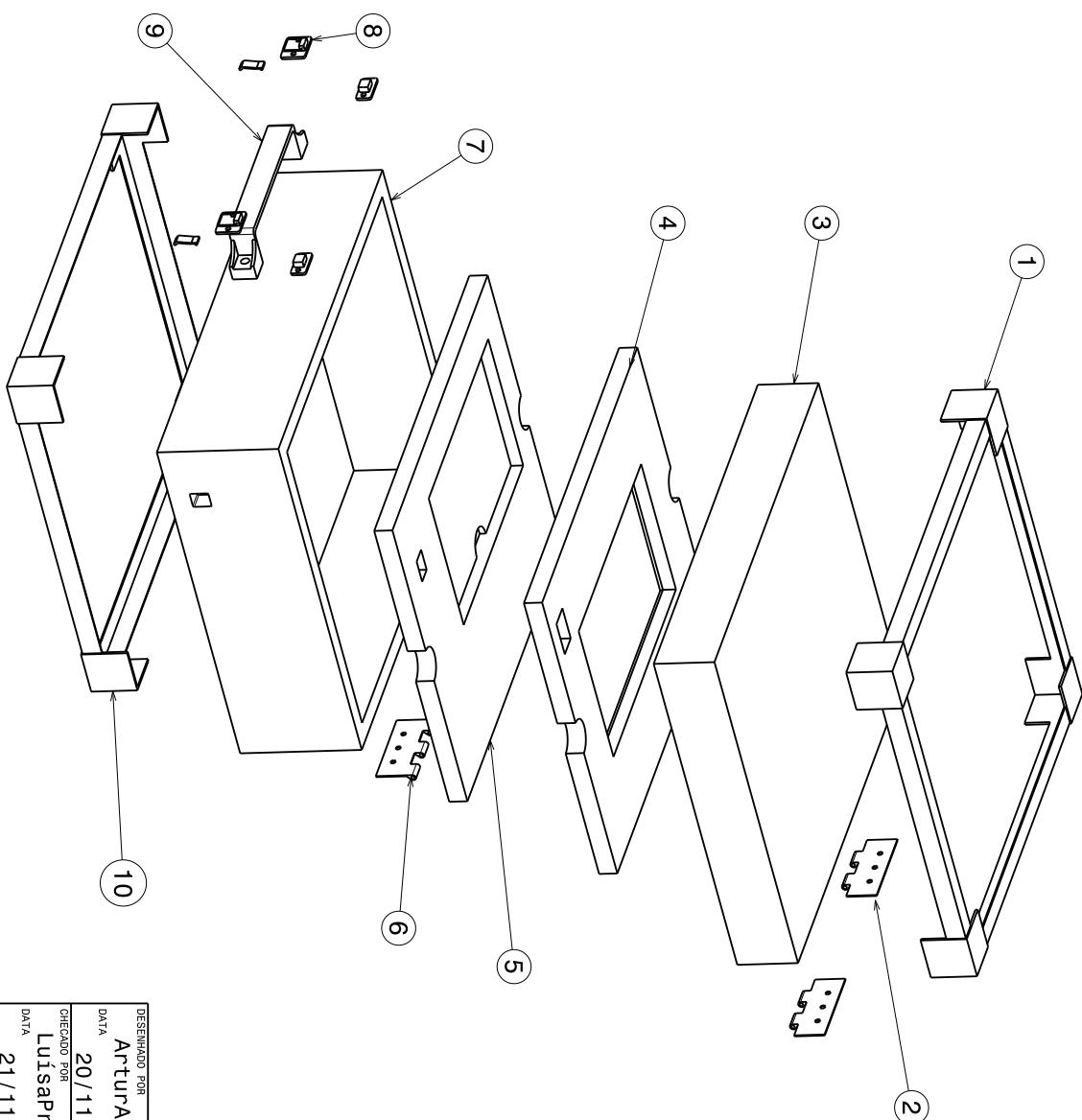
CARREGADOR

PROJETO INTEGRADOR 2

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

1 2 3 4

1 2 3 4

H
GH
G
L
M
D
C
B
A

LISTA DE MATERIAIS	
1	PROTEÇÃO TAMPO
2	DOBRADIÇAS
3	TAMPO
4	MOLDURA TAMPO
5	MOLDURA BASE
6	DOBRAÇAS
7	BASE
8	FECHO
9	ALÇA
10	PROTEÇÃO BASE

MALETAGCS MATERIAIS

DESENHADO POR
Arthur Almeida
DATA
20/11/2020
CHECADO POR
Luisa Prospero
DATA
21/11/2020

TAMANHO
A3

ESCALA
1:4

UNIDADE
XXX

NÚMERO DO DESENHO

PROJETO INTEGRADOR 2

PÁGINA

1 / 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

1 2 3 4

B
A

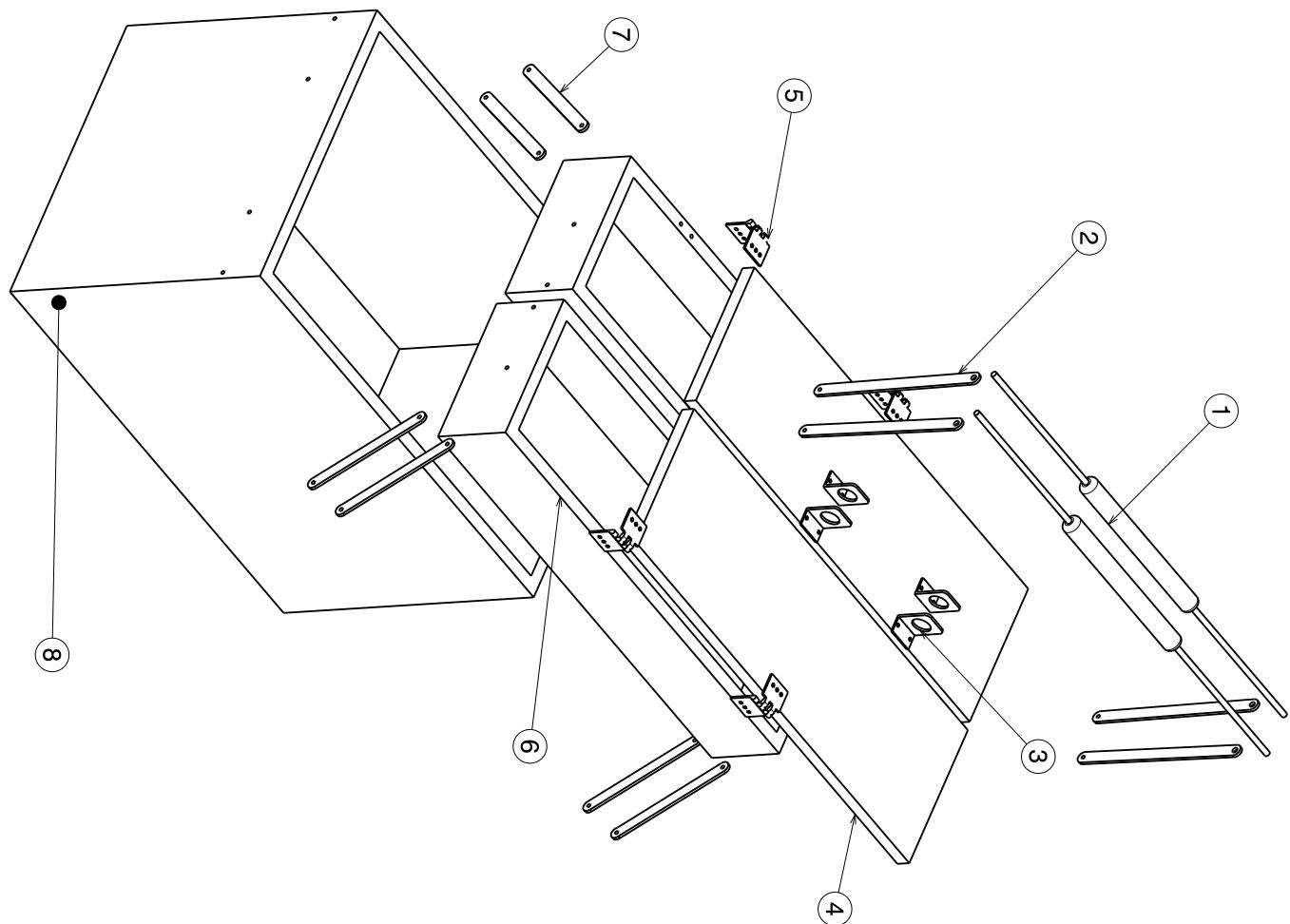


TABELA DE MATERIAIS	
1	ALÇAS
2	PUXADORES
3	CHAPA CAVALETE PARA CADEADO
4	TAMPAS
5	DOBRADIÇAS
6	COMPARTIMENTOS LATERAIS
7	DOBRADIÇA SANFONA
8	BASE

DESENHADO POR Arthur Almeida	DATA 20/11/2020
CHECADO POR Luisa Prospero	DATA 21/11/2020
TAMANHO A3	ESCALA 1:5
UNIDADE 20,26	NÚMERO DO DESENHO 1
	PÁGINAS 1 / 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

1 2 3 4

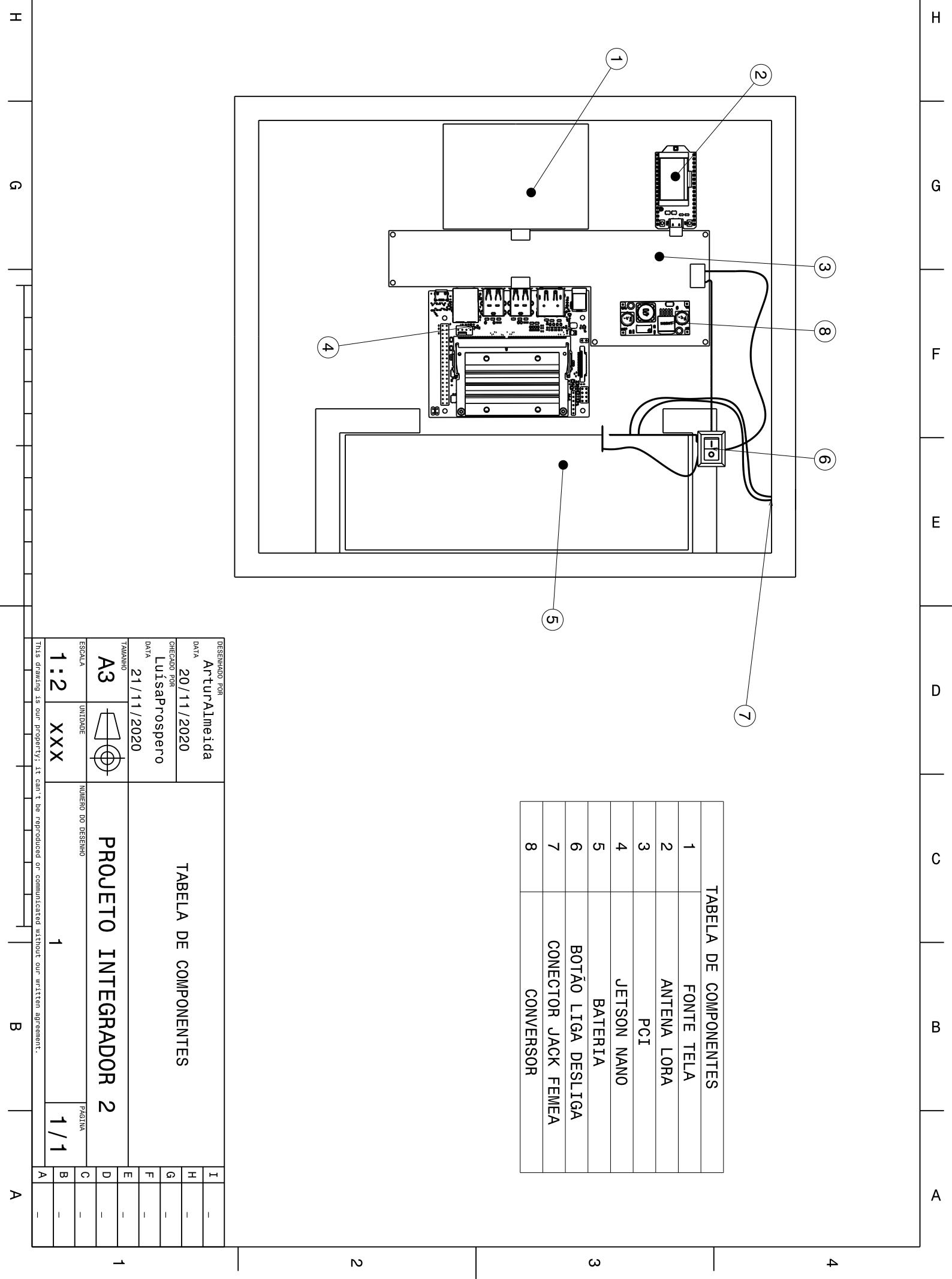


TABELA DE COMPONENTES

1	FONTE TELA
2	ANTENA LORA
3	PCI
4	JETSON NANO
5	BATERIA
6	BOTÃO LIGA DESLIGA
7	CONECTOR JACK FEMEA
8	CONVERSOR

TABELA DE COMPONENTES

DESENHADO POR Arthur Almeida	DATA 20/11/2020
CHECADO POR Luisa Prospero	DATA 21/11/2020
TAMANHO A3	UNIDADE XXX
ESCALA 1:2	NÚMERO DO DESENHO 1
	PÁGINA 1 / 1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

H

G

H

G

B

A

H

A

2

3

4

1

APÊNDICE L – Simulação de Impacto

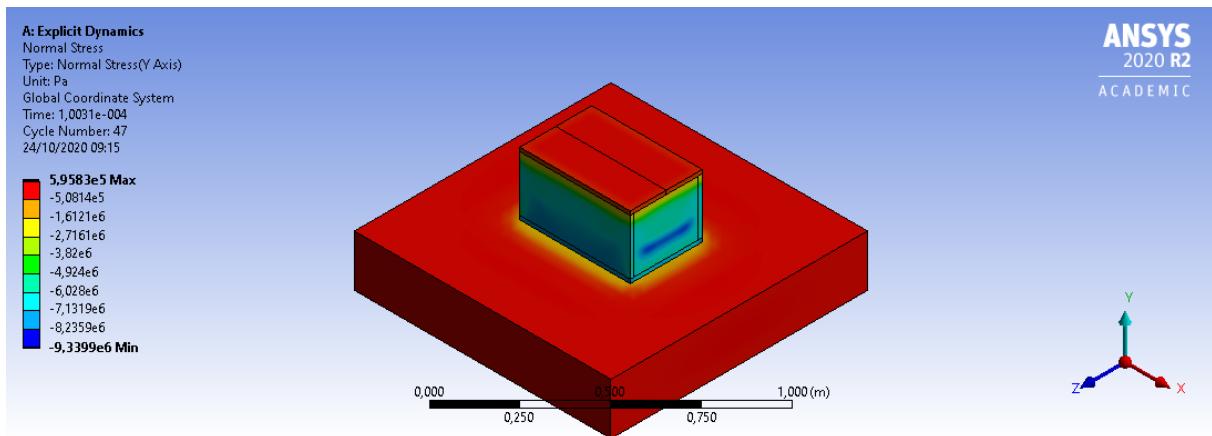


Figura 127 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda direta

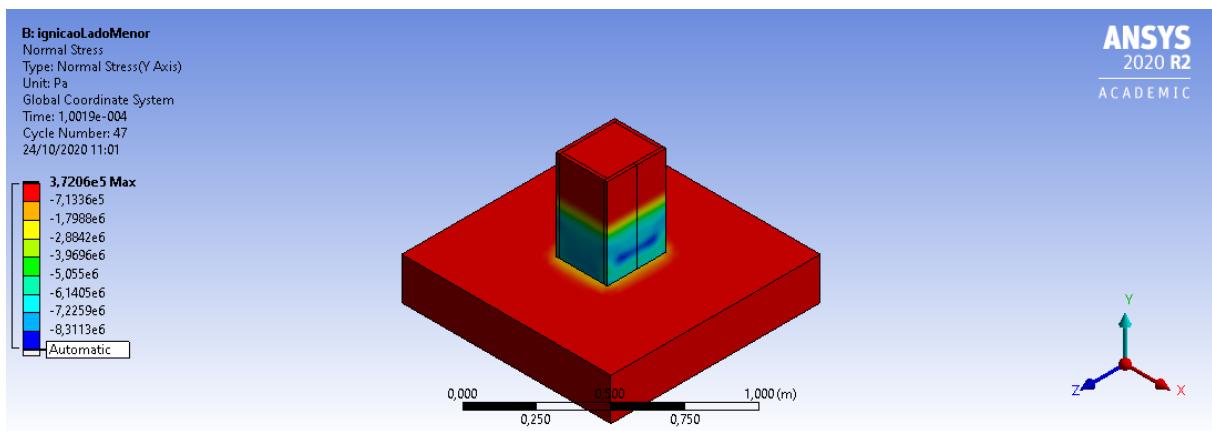


Figura 128 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda lateral

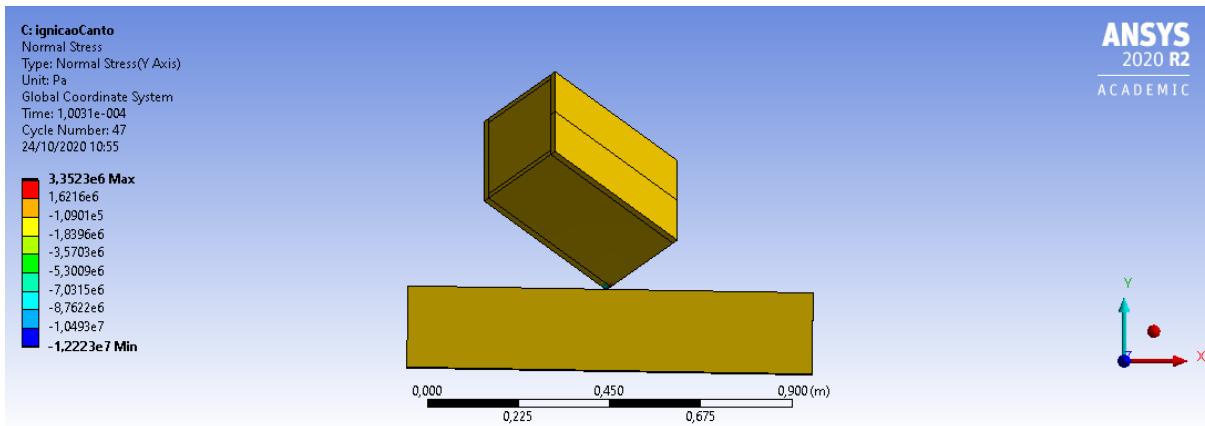


Figura 129 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada

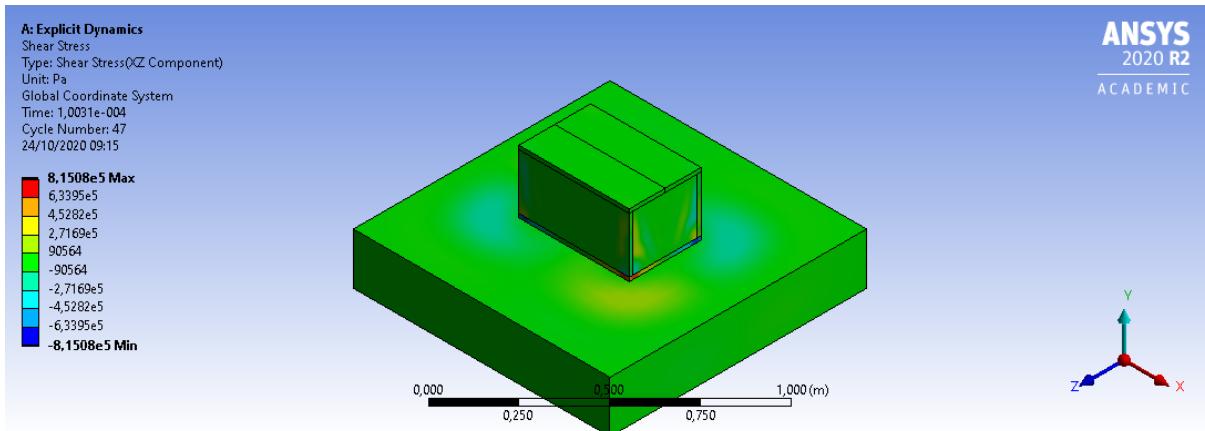


Figura 130 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação em queda direta

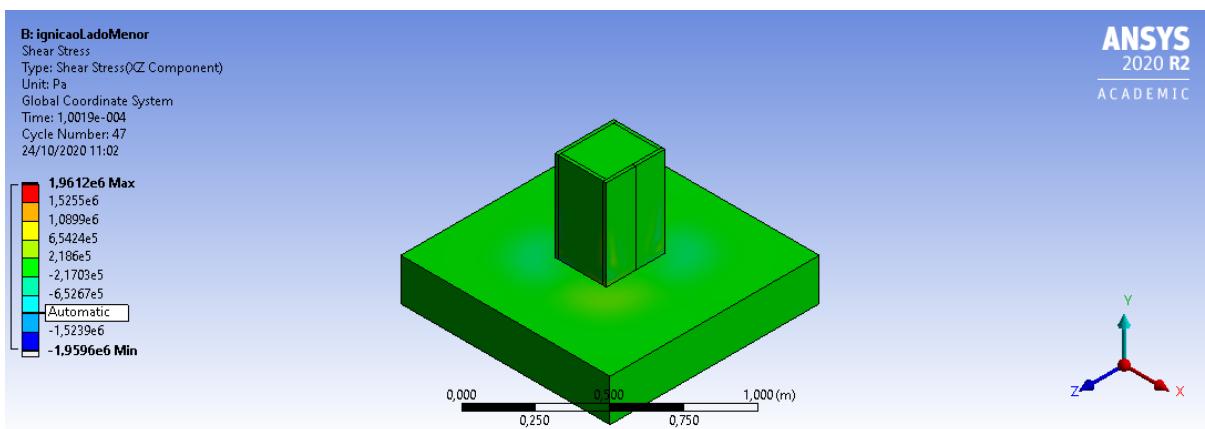


Figura 131 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação em queda lateral

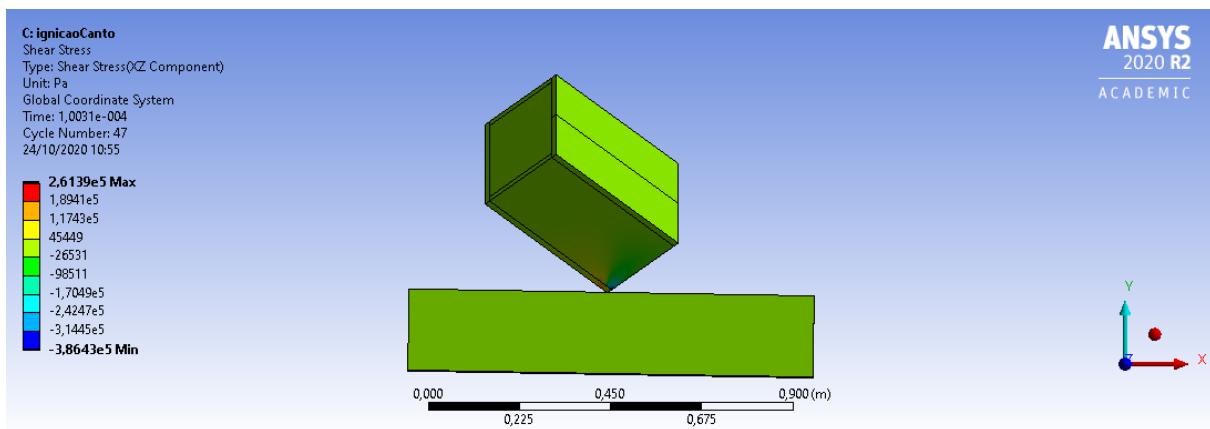


Figura 132 – Tensão de Cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada

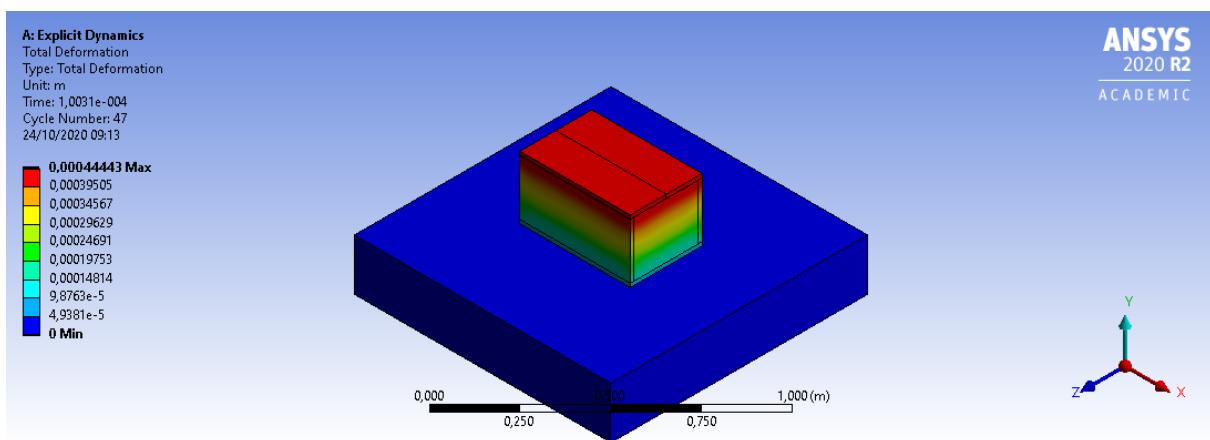


Figura 133 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda direta

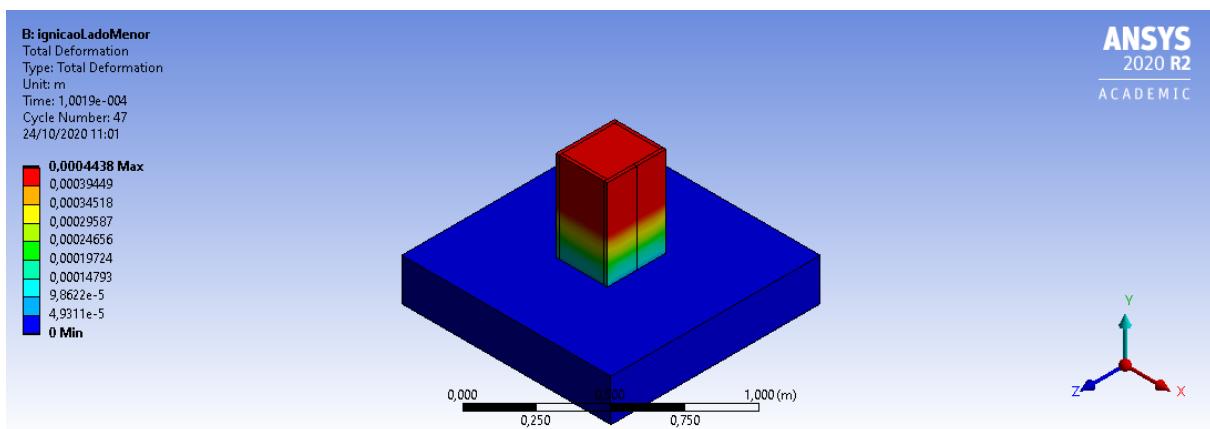


Figura 134 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda lateral

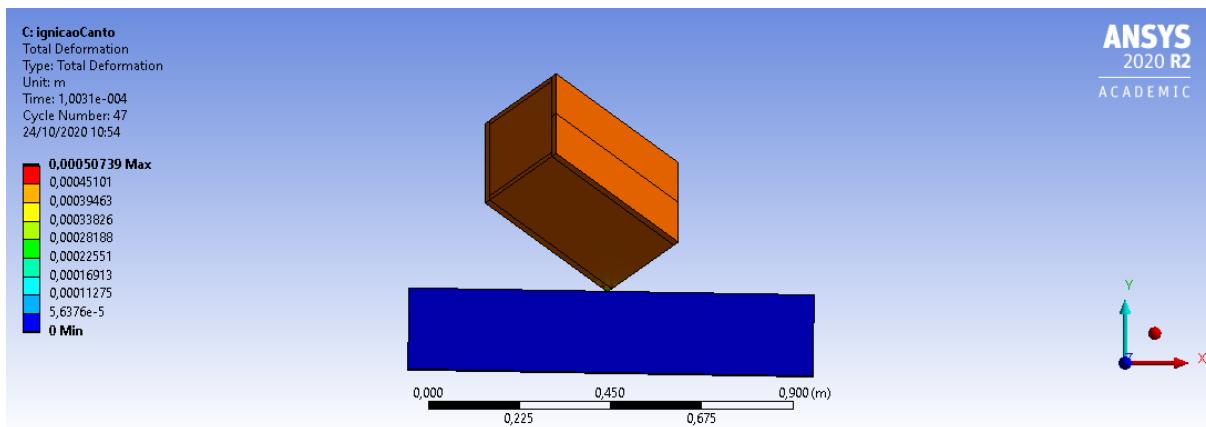


Figura 135 – Deformação da maleta do sistema de alimentação em queda inclinada

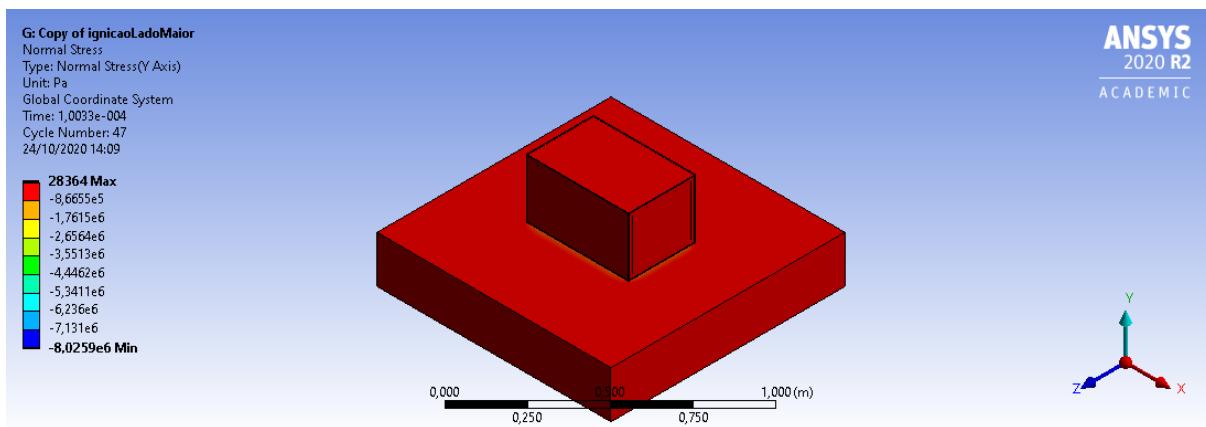


Figura 136 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta

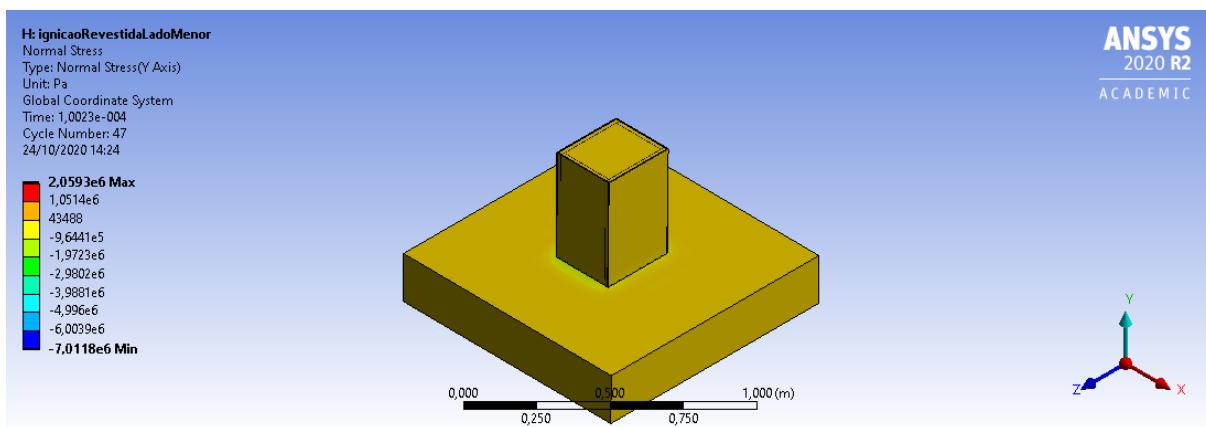


Figura 137 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral

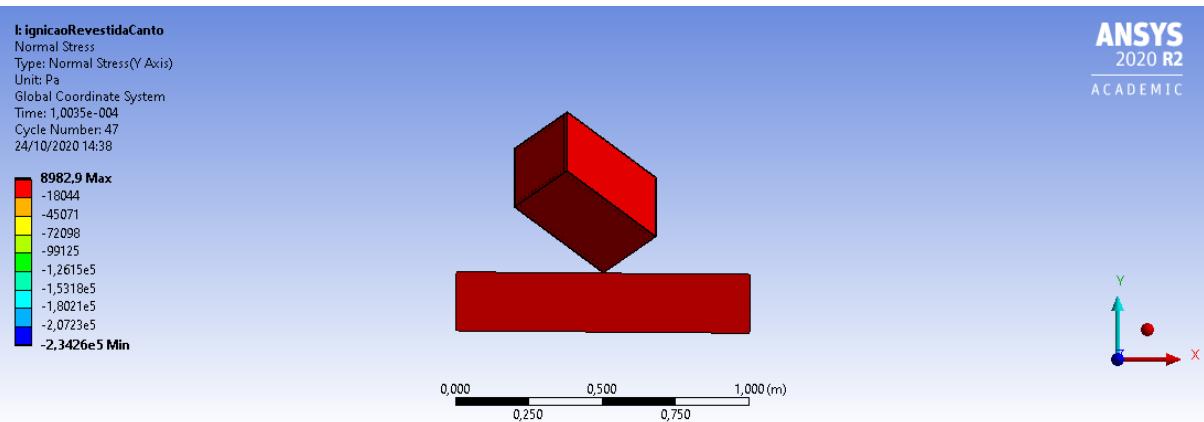


Figura 138 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada

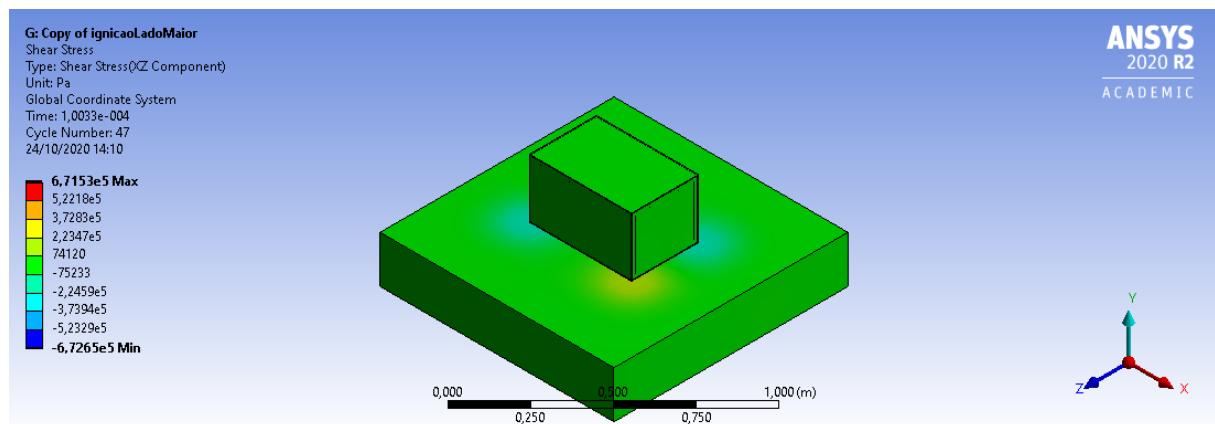


Figura 139 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta

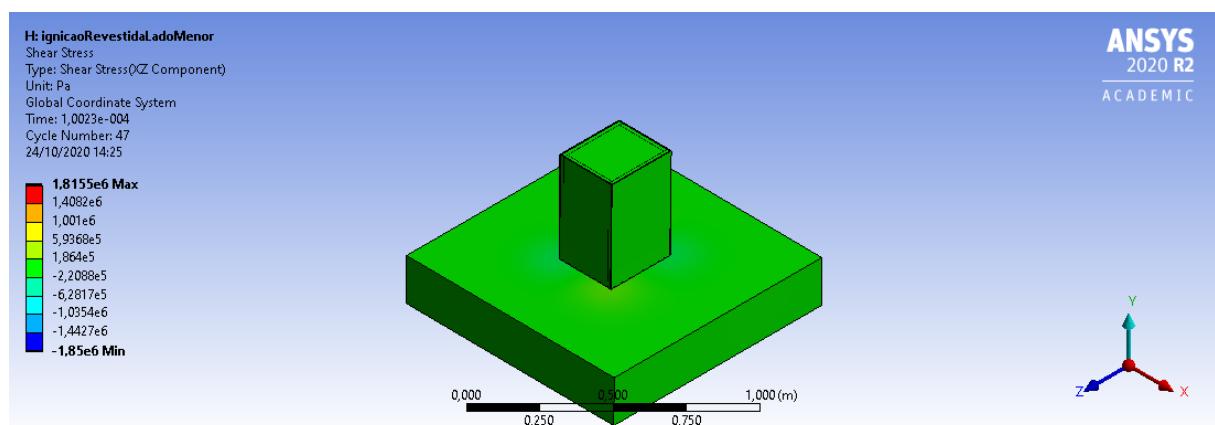


Figura 140 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral

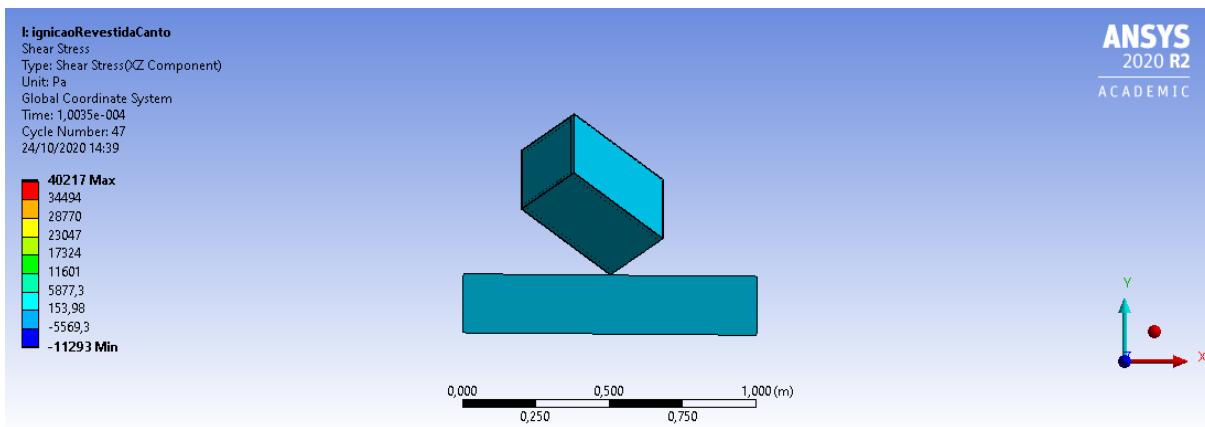


Figura 141 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada

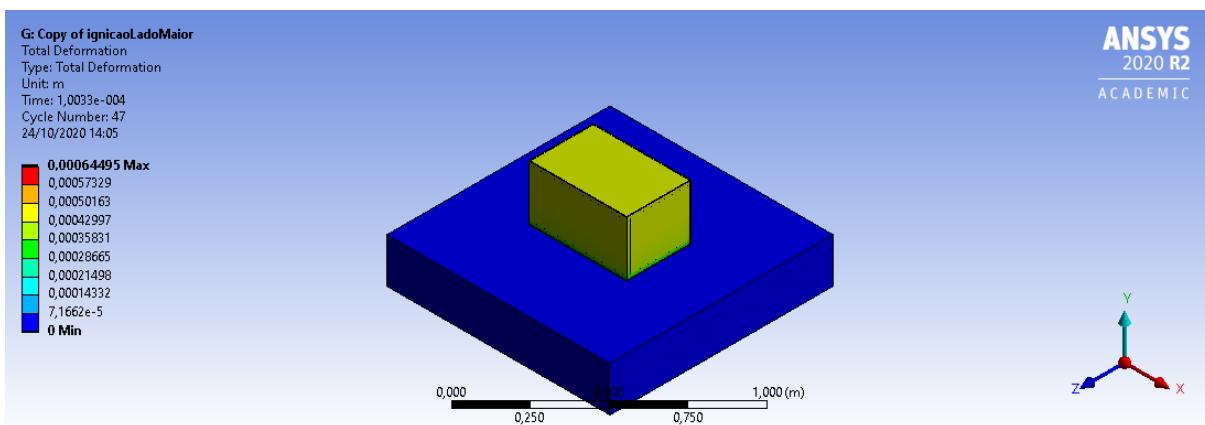


Figura 142 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda direta

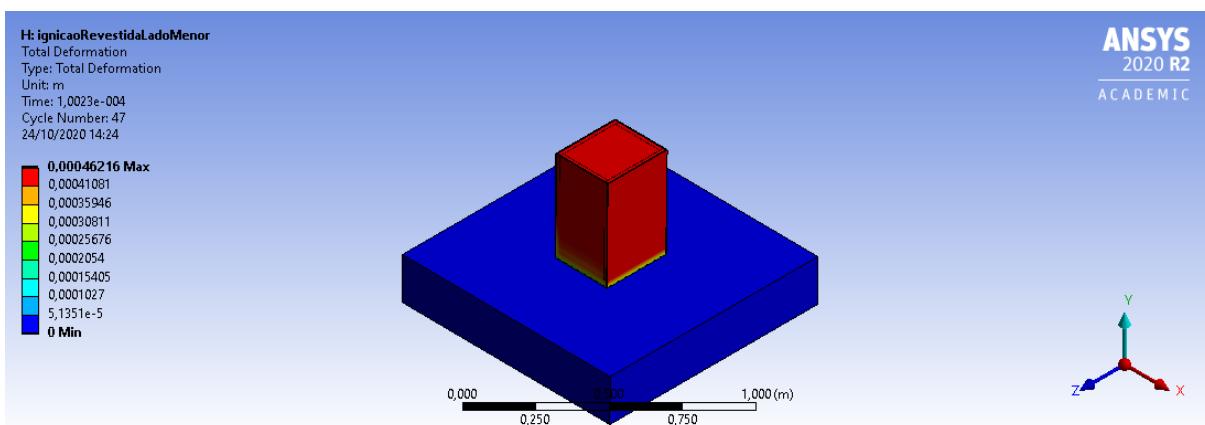


Figura 143 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda lateral

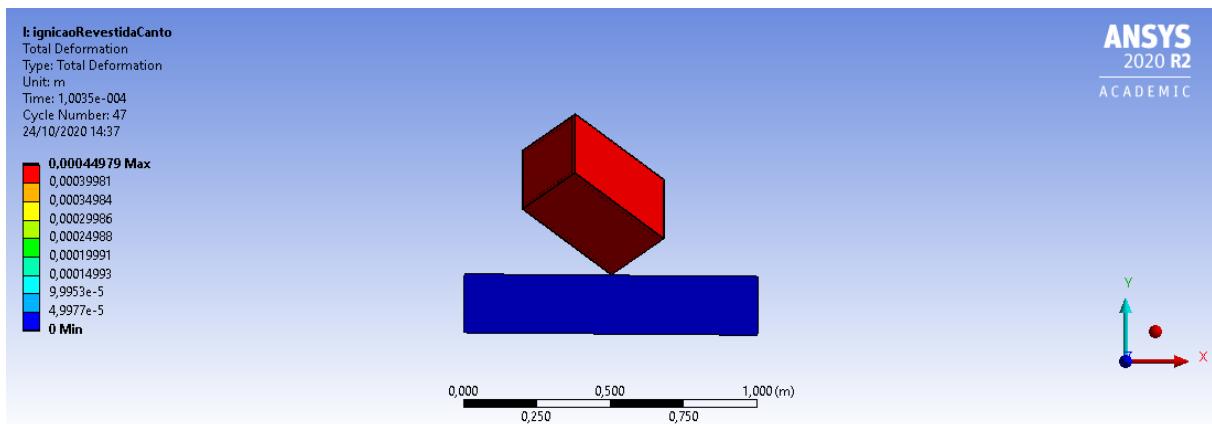


Figura 144 – Deformação da maleta do sistema de alimentação revestida em queda inclinada

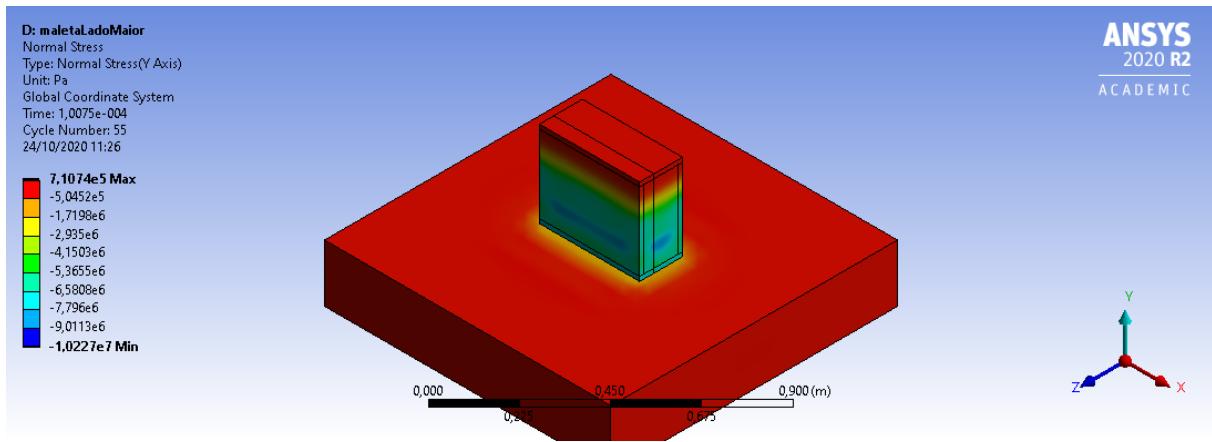


Figura 145 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda direta

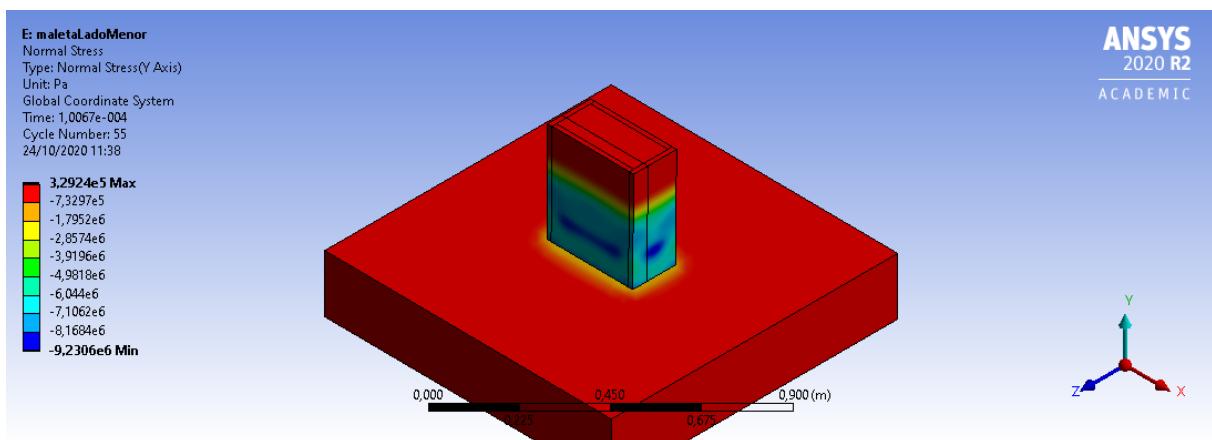


Figura 146 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda lateral

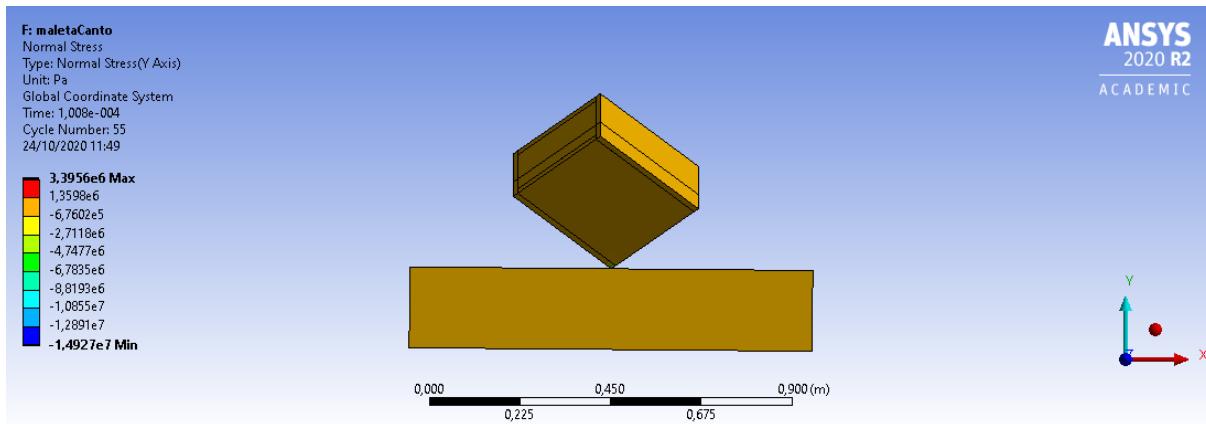


Figura 147 – Tensão normal no eixo Y da maleta do sistema de controle em queda inclinada

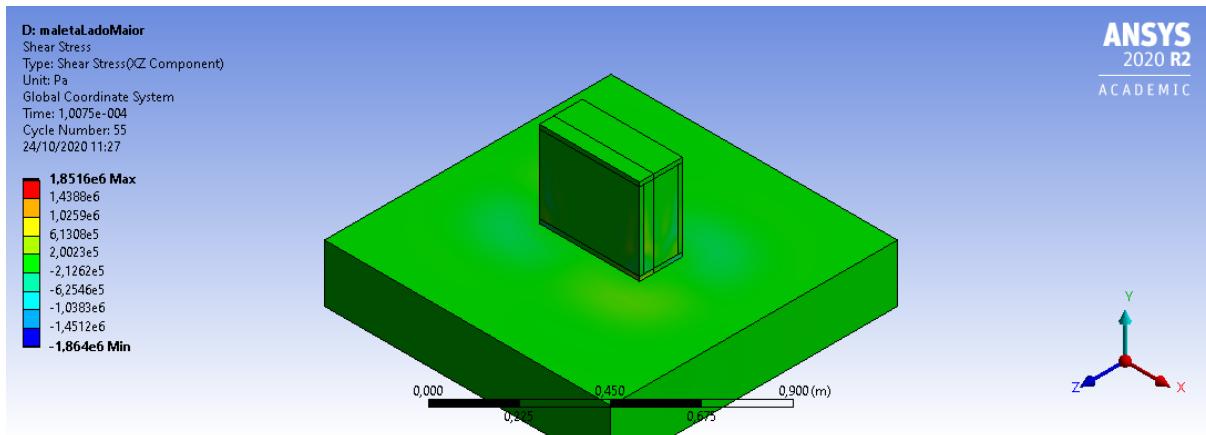


Figura 148 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda direta

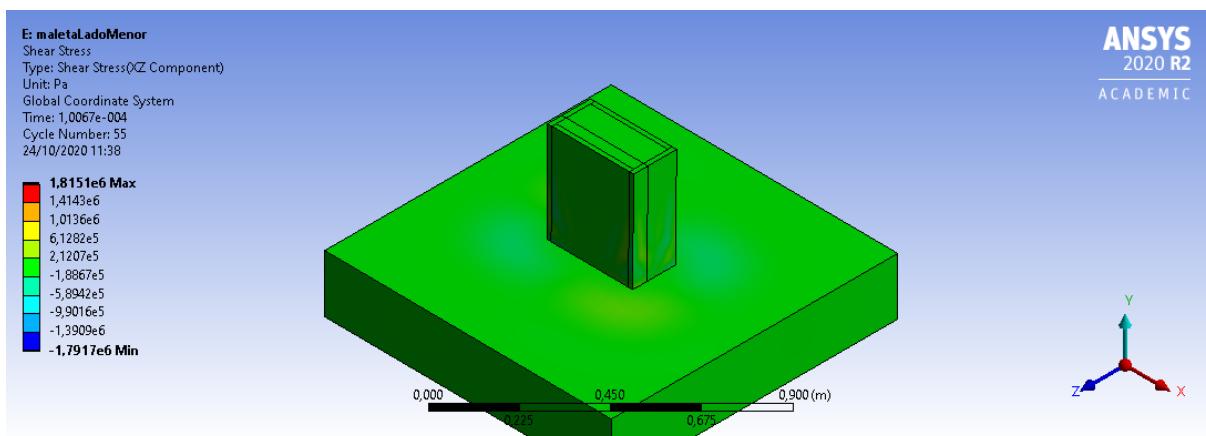


Figura 149 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda lateral

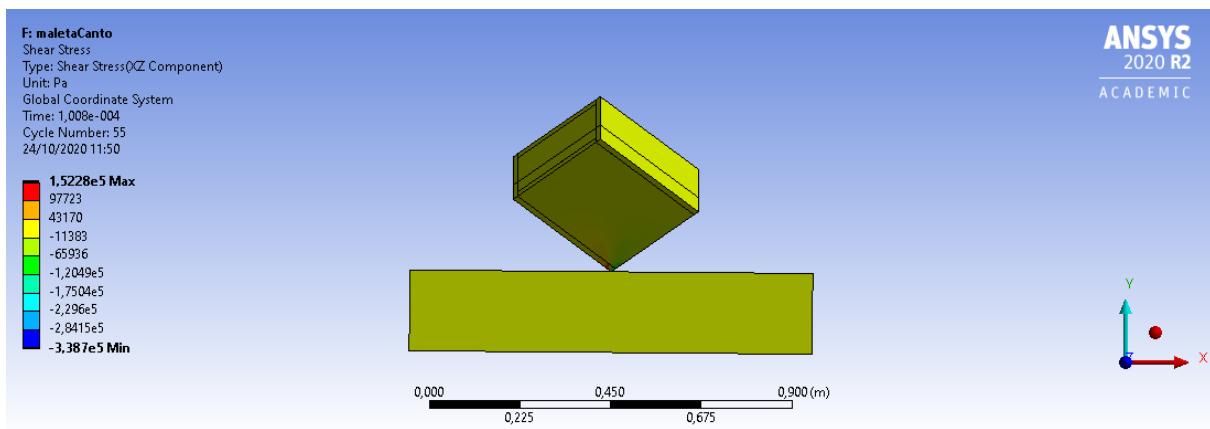


Figura 150 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta do sistema de controle em queda inclinada

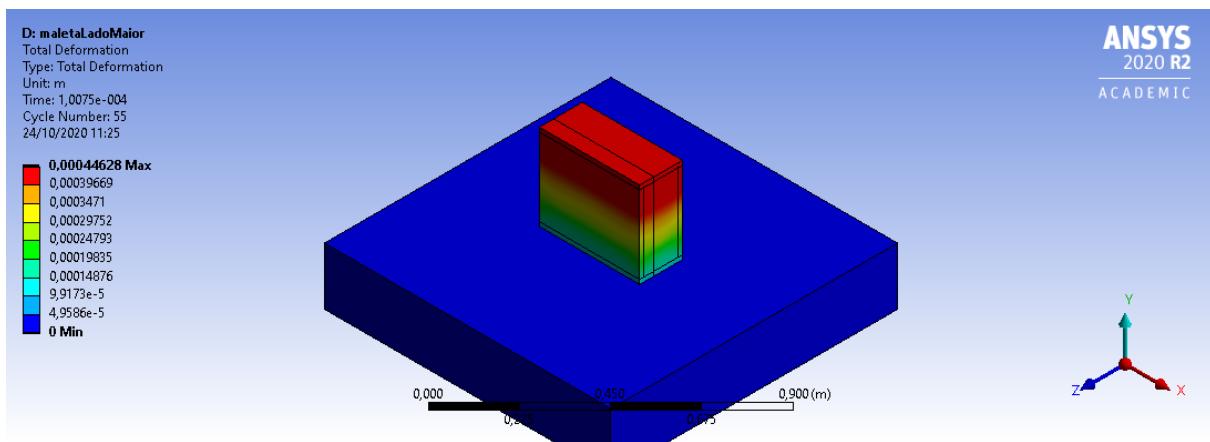


Figura 151 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda direta

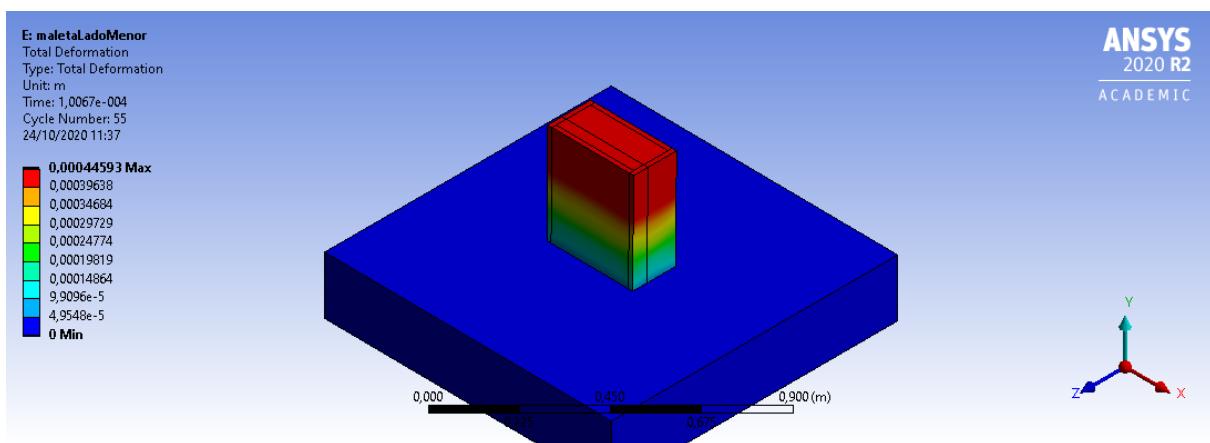


Figura 152 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda lateral

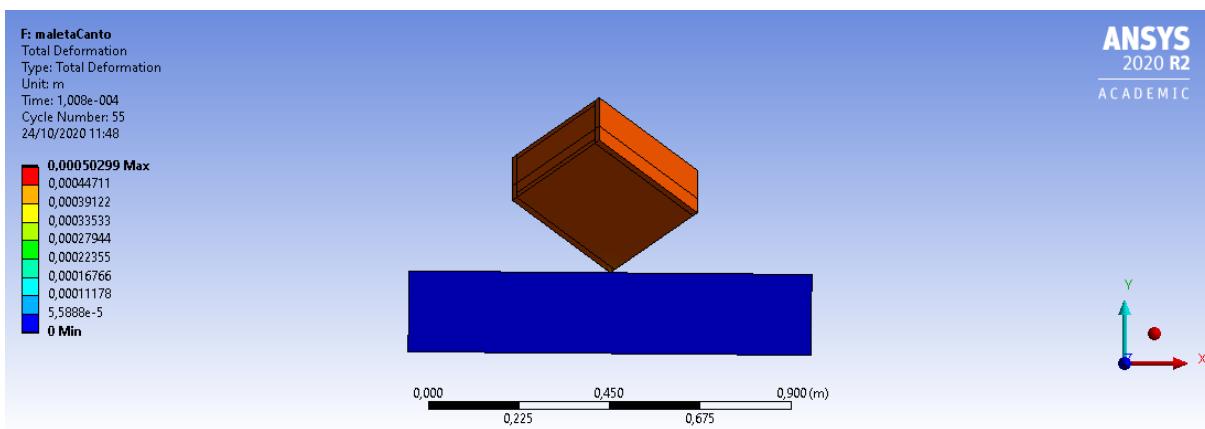


Figura 153 – Deformação da maleta do sistema de controle em queda inclinada

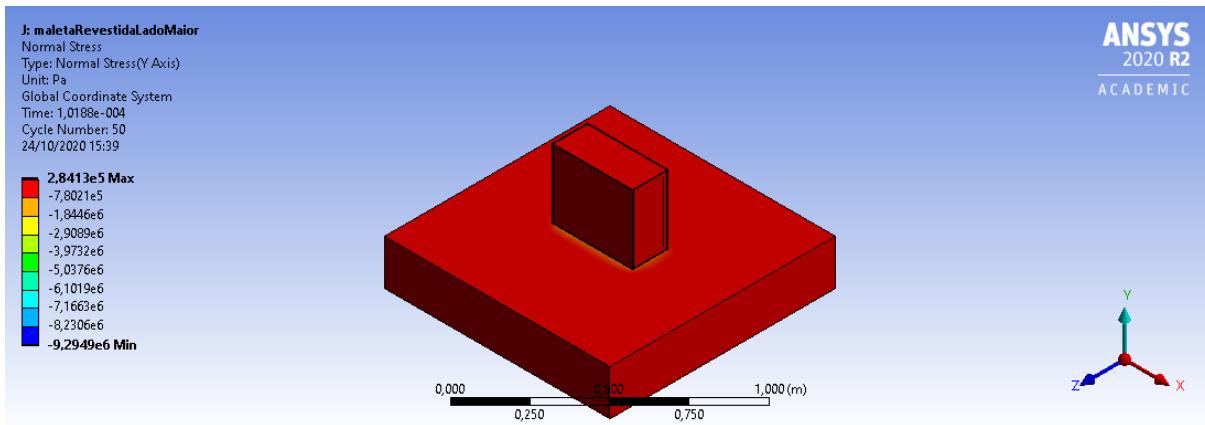


Figura 154 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda direta

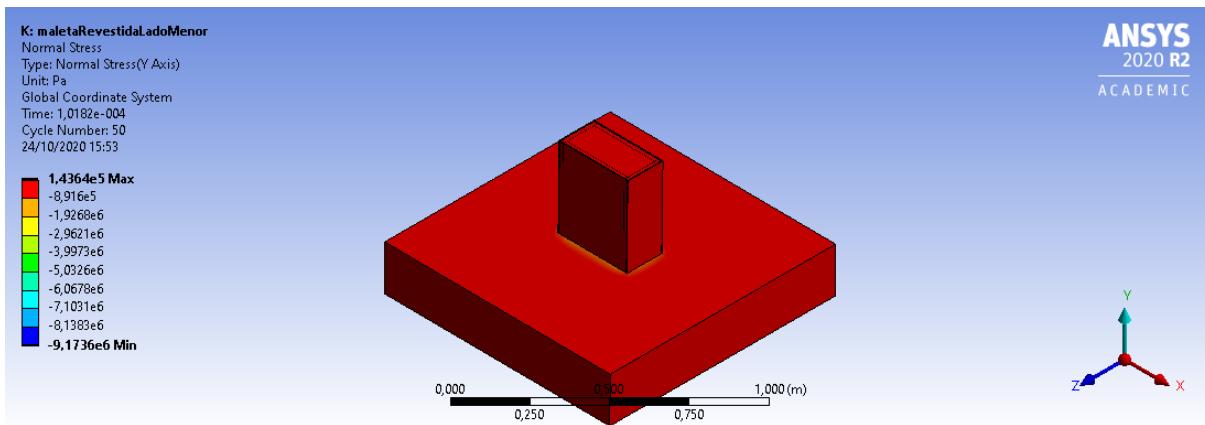


Figura 155 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral

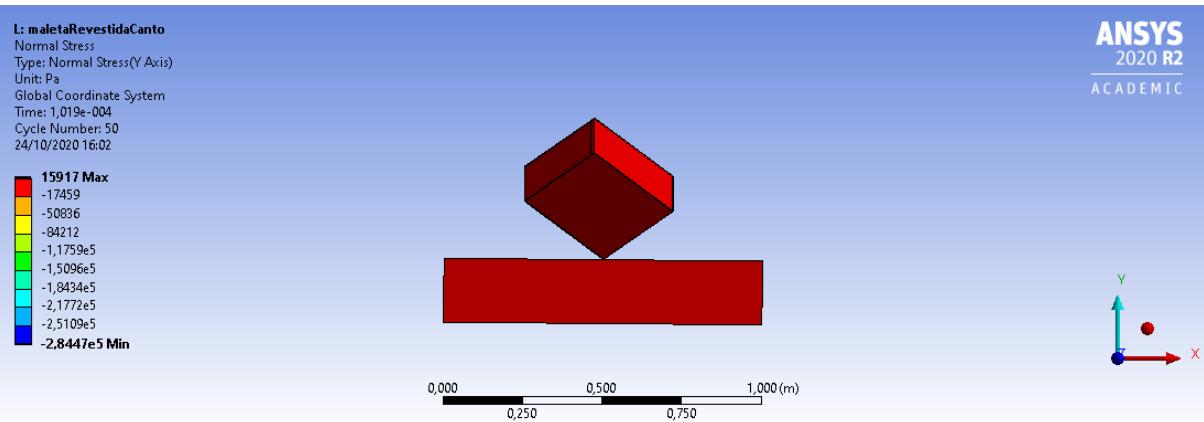


Figura 156 – Tensão normal Y da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada

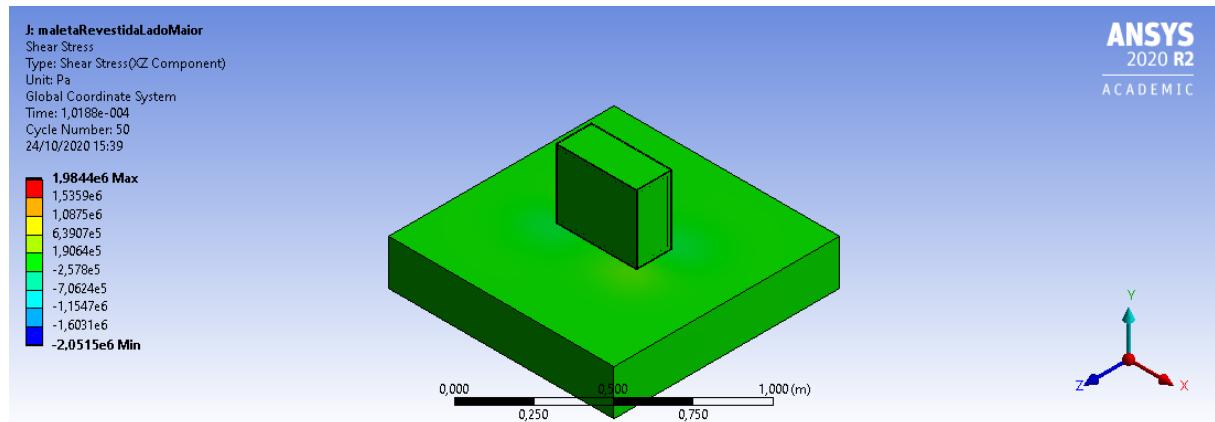


Figura 157 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda direta

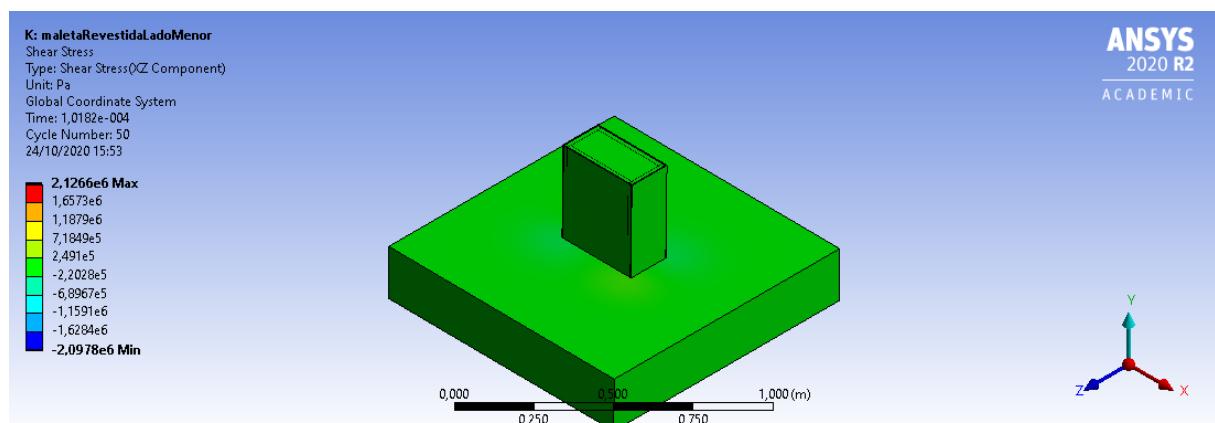


Figura 158 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral

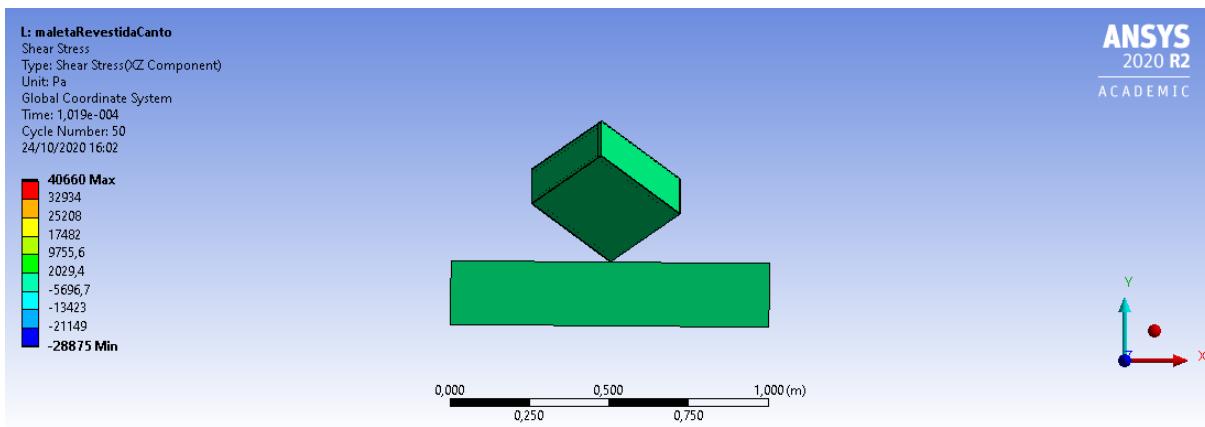


Figura 159 – Tensão de cisalhamento no plano XZ da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada

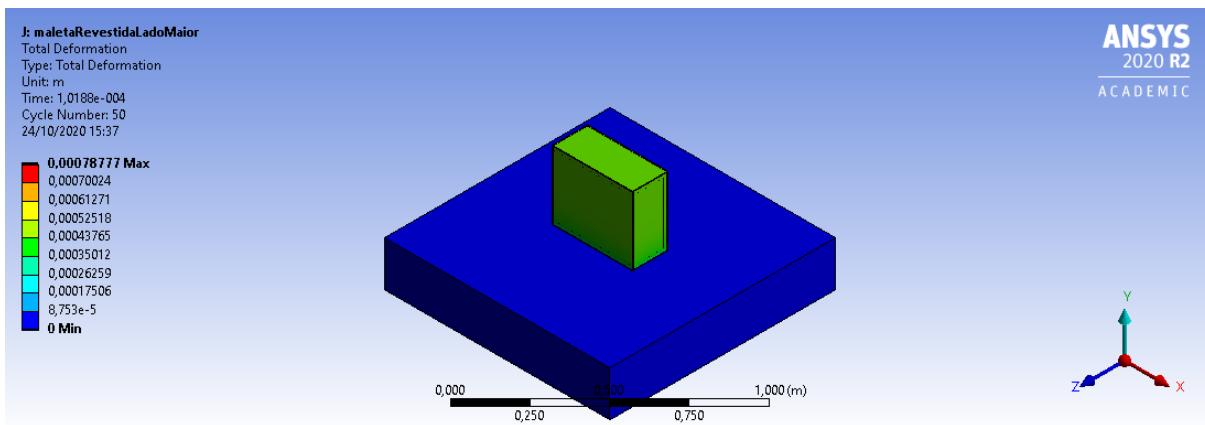


Figura 160 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda direta

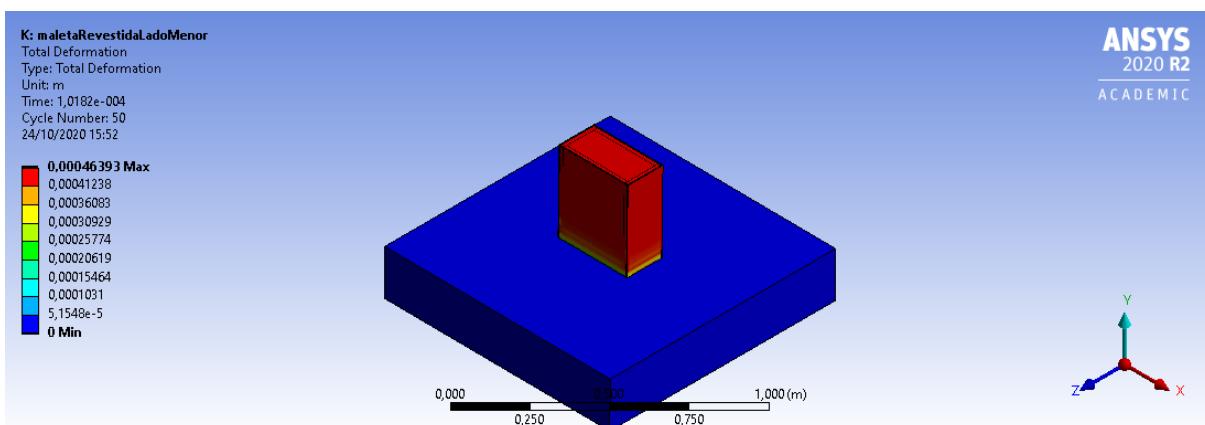


Figura 161 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda lateral

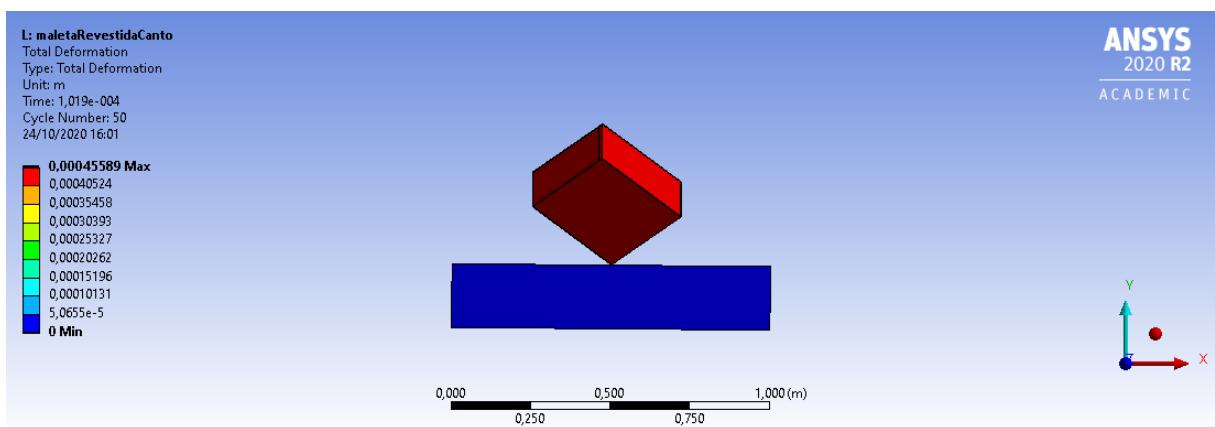


Figura 162 – Deformação da maleta revestida do sistema de controle em queda inclinada

APÊNDICE M – Registro de alterações

PC2	Estudo sobre as dificuldades de aplicar Aprendizado de Máquina no projeto.
Seção 4.2.3	Adição de mais uma célula de carga para medição do peso do foguete.
Seção 5.3	Uso de duas baterias separadas.
Seção 5.6.2	Construção de um carregador com estrutura a parte das maletas.
Seção 6.1	Separação das maletas e construção de duas cases de suporte.
Seção 7.3.1	Válvula esfera selecionada e adaptador para a mesma.

Tabela 63 – Lista de alterações significativas do projeto.

APÊNDICE N – Autoavaliação

- **Nome: Augusto Moreno Vilarins**

- Refinamento da definição do produto
- Levantamento de requisitos
- Storytelling
- Protótipo de baixa fidelidade
- Wireframe
- Reuniões de alinhamento com o cliente
- Protótipo de média fidelidade
- Auxílio na elaboração do documento do Ponto de Controle 2
- Correção das mudanças sugeridas para o documento do ponto de controle 2
- Revisão e edição do documento de ponto de controle 3
- Manual de usuário
- Manual de montagem
- Documentação das reuniões com clientes
- Preparação do ambiente de desenvolvimento do Front end
- Auxílio no desenvolvimento do front end

- **Nome: Artur Cardoso de Almeida**

- Dimensionamento do case de eletrônica.
- Dimensionamento do carregador de energia.
- Redimensionamento da estrutura da Maleta 02 - Abastecimento.
- Criação dos CADS das maletas.
- Criação do CAD da case de eletrônica.
- Criação do CAD do carregador de energia.
- Criação dos desenhos técnicos das estruturas.
- Tabela de materiais com vista explodida.
- Alinhamento sobre a disposição dos componentes da central de controle com o grupo de eletrônica.
- Integração com o subsistema de eletrônica.

- Integração com o subsistema de energia.
- Renderização da maleta GCS e da maleta de abastecimento.
- Renderização do case de eletrônica
- Renderização do carregador de energia.
- Renderização do sistema de abastecimento.
- Orçamento dos componentes para fabricação da maleta.
- Auxílio na definição da solução de acoplamento dos atuadores nas válvulas.
- Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 3.
- Auxílio na confecção do manual de montagem.
- Auxílio na confecção do manual de usuário.

- **Nome: Diogo Filipe Sens**

- Revisão da simulação de impacto.
- Elaboração do plano de montagem das estruturas das duas maletas.
- Definição dos elementos de fixação dos componentes estruturais das duas maletas.
- elaboração de desenhos que ilustrem a sequência de montagem das duas maletas.
- Confecção do manual de montagem sobre a parte estrutural da maleta.
- Auxílio na elaboração do *case* de suporte do subsistema válvula + motor + adaptador.

- **Nome: Douglas Alves Brandão**

- Definição dos requisitos da estrutura utilizada no protótipo.
- Definição dos possíveis materiais a serem utilizados na construção da Ground Station.
- Auxílio na elaboração dos CADs da maleta.
- Detalhamento das características dos materiais a serem utilizados na construção da Ground Station.
- Auxílio na modelagem do sistema de abastecimento.
- Auxílio na simulação do sistema de abastecimento no software Simulink/Matlab.
- Definição dos parâmetros do sistema de abastecimento.
- Definição da solução para a abertura de válvulas.

- Auxílio na elaboração dos documentos dos Pontos de Controles.
- Confecção das instruções para o manual de montagem.
- Confecção do manual de montagem.
- Confecção dos CADs do sistema de abastecimento.

- **Nome: Gustavo Cavalcante Linhares**

- Gerenciamento e acompanhamento das atividades do grupo de eletrônica
- Detalhamento da solução de integração entre hardware e eletrônica
- Alinhamento com os gerentes sobre as soluções tomadas e sobre o desenvolvimento do projeto
- Alinhamento entre eletrônica, sub áreas do projeto e o Stakeholder sobre as soluções que possuem impacto no trabalho em mais de um grupo dentro do projeto.
- Revisão final dos diagramas esquemático e do projeto de PCI's.
- Construção do Manual de montagem no subtópico da montagem dos componentes eletrônicos
- Auxílio na construção do Manual de usuário
- Revisão da documentação do PC3 do manual de usuário e manual de montagem

- **Nome: Francisco Matheus Fernandes Gomes**

- Revisão final dos diagramas esquemático e do projeto de PCI's.
- Criação do diagrama de blocos do abastecimento do projeto e no auxílio do diagrama geral.
- Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 3.
- Confecção do manual de montagem.
- Confecção do manual do usuário.
- Levantamento e definição de requisito para o funcionamento da telemetria por Lora na ESP32.
- Auxílio na definição da solução de acionamento e controle eletrônico das válvulas internas e externas ao foguete.
- Auxílio na integração da eletrônica com os grupos de energia e estrutura.
- Atualização dos custos dos componentes que envolve o hardware do projeto.

- **Nome: Gabriela Alves da Gama**

- Desenvolvimento do Manter Hardware e Comando;

- Configuração do banco de dados;
- Desenvolvimento do Manter Foguete;
- Desenvolvimento do calculo de velocidade;
- Desenvolvimento do manter altitude, gps, missao, peso, pressão, e velocidade;
- Descrever construção do backend;
- Desenvolvimento do serviço de simulação
- Revisão dos artefatos de software

- **Nome: Isaque Alves de Lima**

- Gerenciamento de riscos do projeto;
- Direcionamento nas reuniões;
- Apoio no alinhamento entre as áreas do projeto;
- Edição e revisão do Ponto de Controle 3;
- Alinhamento e acompanhamento das atividades do projeto;
- Desenvolvimento do Manter Hardware e Comando;
- Configuração do banco de dados;
- Desenvolvimento do Manter Foguete;
- Desenvolvimento do calculo de velocidade;
- Desenvolvimento do manter altitude, gps, missao, peso, pressão, e velocidade;
- Documentação da API;
- Diagrama de pacotes do backend;
- Reuniões de alinhamento Software-eletrônica;
- Cenários de teste;
- Apendice GitHub;
- Descrever construção do backend;
- Plano de teste do manual de montagem;
- Atualização do diagrama de sequência da solução;
- Descrever construção do front end;
- Atualização das metas e restrições da arquitetura;
- Revisão das atividades de software;
- Revisão final dos diagramas e imagens;

- **Nome: João Henrique Egewarth**

- Gerenciamento e acompanhamento das atividades do grupo de software;
 - Reuniões com clientes;
 - Descrever construção do front end;
 - Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 3;
 - Alinhamento e acompanhamento das atividades do projeto;
 - Documentação da API;
 - Elaboração dos cenários de teste;
 - Desenvolvimento do Front end da aplicação;
 - Preparação do ambiente de desenvolvimento do Front end;
 - Alinhamento com eletrônica para desenvolvimento da comunicação serial;
 - Diagrama de pacotes do Front end;
 - Escrita sobre a infraestrutura necessária para a emulação do ambiente com arquitetura computacional Arm64 em ambientes com arquitetura x86;
- **Nome: Luísa Prospero de Carvalho silva**
 - Correções levantadas para o documento do ponto de controle.
 - Revisão e edição do documento de ponto de controle 3
 - Construção e revisão do Manual de usuário
 - Construção e revisão do Manual de montagem
 - Definição do material para as case.
 - Definição dos requisitos da estrutura utilizada no protótipo.
 - Modelagem do sistema de abastecimento.
 - Diagrama técnico do sistema de abastecimento.
 - Gerenciamento e acompanhamento das atividades do grupo de estrutura e energia
 - Alinhamento com os gerentes sobre as soluções tomadas e sobre o desenvolvimento do projeto
 - Revisão final dos desenhos técnicos.
 - Revisão final de energia e estrutura
 - Auxílio na definição da solução de acoplamento da válvula e do motor.
 - Plano de teste do manual de montagem;
 - Auxílio na definição da solução de acoplamento dos atuadores nas válvulas.
 - Atualização dos custos dos componentes da estrutura.

- caracterização dos componentes de abastecimento

- **Nome: Milena Martins Magalhães**

- Elaboração do manual de usuário para operação do sistema de carregamento e manutenção das baterias.
- Elaboração do plano de testes para o sistema de carregamento.
- Elaboração do manual de montagem do carregador.
- Alinhamento com equipes de estrutura e eletrônica para integração.
- Atualização dos custos dos componentes do sistema de alimentação e carregamento.
- Confecção da Placa de Circuito Impresso do carregador no EasyEDA.
- Auxílio na edição e revisão do documento do Ponto de Controle 3.

- **Nome: Misael de Souza Andrade**

- Definição da solução de acionamento dos atuadores das válvulas e ignição.
- Criação do diagrama de algoritmo da calibração do sensor de peso.
- Auxílio na edição e revisão do Ponto de Controle 3.
- Confecção do manual de montagem, mais especificamente do subgrupo da Eletrônica.
- Levantamento e definição de requisito para o funcionamento do sensoriamento.
- Auxílio na definição da solução de acionamento e controle eletrônico das válvulas internas e externas ao foguete.
- Auxílio na definição da solução do pacote de dados transmitidos pela ESP32 LoRa.
- Auxílio na integração da eletrônica com os grupos de energia e estrutura.

- **Nome: Thainá Rodrigues Fernandes**

- Elaboração do manual de usuário para operação do sistema de carregamento e manutenção das baterias.
- Elaboração do plano de testes para o sistema de alimentação e do carregador.
- Elaboração do manual de montagem do sistema de alimentação da maleta e da base de lançamento.
- Alinhamento com equipes de estrutura e eletrônica para integração.
- Atualização dos custos dos componentes do sistema de alimentação e carregamento.

- Pareamento com outras equipes sobre a solução da ignição.
- Atualização dos diagramas unifilares dos sistemas de controle e da base.
- Auxílio na edição e revisão do documento do Ponto de Controle 3.

APÊNDICE O – Manual de Montagem

Enviado separadamente, por questões técnicas.

APÊNDICE P – Manual de Usuário

Enviado separadamente, por questões técnicas.

Anexos

ANEXO A – Elementos do sistema de alimentação



(a) Tanque de abastecimento



(b) Tubo flexível

Figura 163 – Tanque de abastecimento e Tubo flexível



(a) Válvula esfera



(b) Válvula anti-retorno

Figura 164 – Válvulas



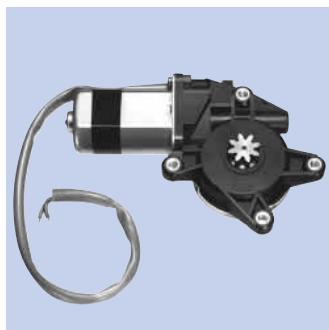
(a) Conector T



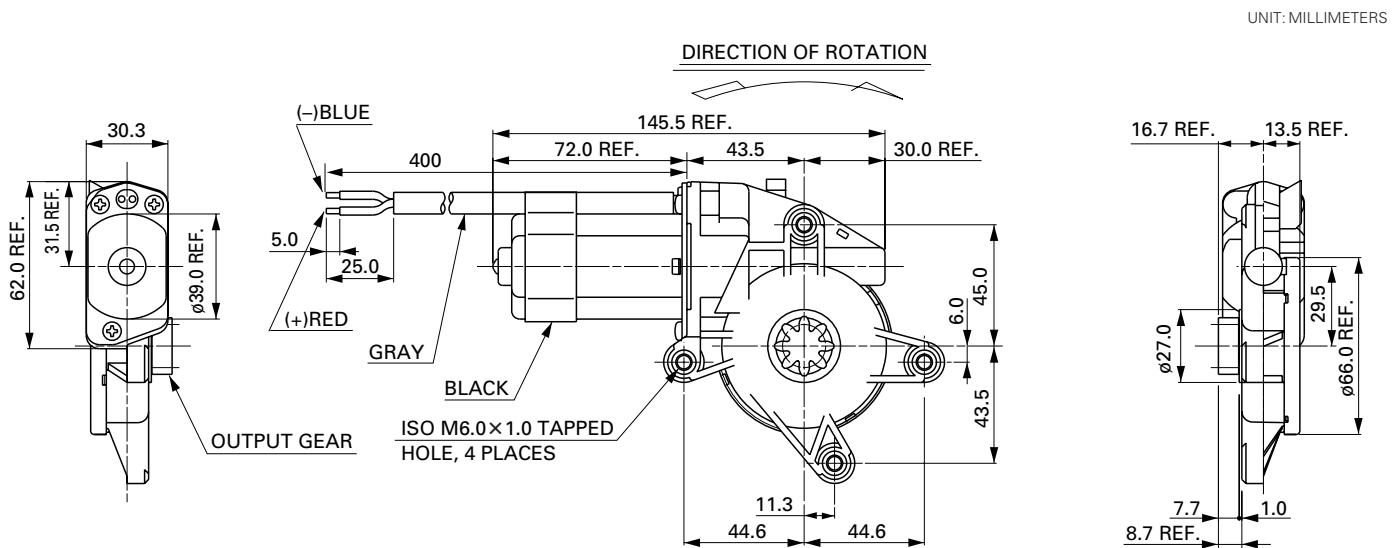
(b) Conector rápido

Figura 165 – Conectores

Typical Applications Automotive Products : Power Windoow Lifter

**Distinctive Features**

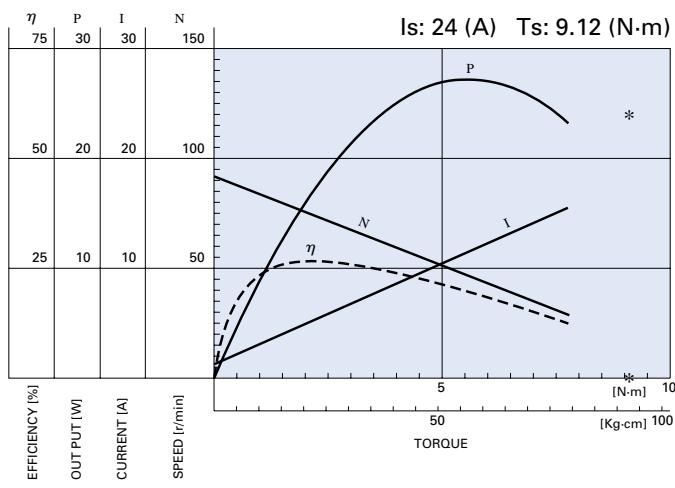
- The drive motor is designed to be the compact sized motor offered for power window applications, measuring 29mm thick and 39mm across the diameter.
- This motor is designed with water proof construction.



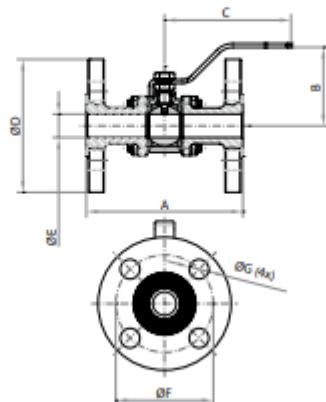
WEIGHT: 520g (APPROX)

JC/LC-578VA-4720

12.0V



Válvulas esfera tripartida flangeadas classe 150lbs, passagem plena.



DN	Passager	
Pol.	mm	
1/2"	15	12,7
3/4"	20	19,0
1"	25	25,0
1.1/4"	32	30,5
1.1/2"	40	38,0
2"	50	49,0

Figura 166 – Valvula esfera flangeada