



CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SAE BRASIL AERODESIGN 2019

RELATÓRIO DE ELÉTRICA

EQUIPE FEI MICRO

Nº 205

ANA PRISCILA OLIVEIRA ROCHA

BREILA MARIA DIAS PEREIRA

BRUNO FELIX DA SILVA

BRUNO HIDEKI YUGAWA

CARLOS FERNANDES ALFANO JUNIOR

ERICH RAMOS BORGES

HIGOR DAVI PEREIRA DE CAMPOS

LEONARDO AMYUNI DOS SANTOS

PAULO HENRIQUE VIDAL CERVI

ORIENTADOR: PROF. DR. CYRO ALBUQUERQUE NETO

SÃO BERNARDO DO CAMPO

JULHO/2019

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CMP – Conjunto motopropulsor

FMEA – Failure Mode and Effects Analysis

ESC – Eletronic Speed Control

disp – Disponível

Ev – Estabilizador Vertical

Eh – Estabilizador horizontal

I – Corrente Elétrica

máx – Máximo

req – Requerido

Te – Tração Estática

Td – Tração Dinâmica

Rin – Resistência Interna

Rl – Resistência da Carga

Vl – Tensão da Carga

Vin – Tensão de Entrada

T – Temperatura sob o regulador

R – Resistência na saída

Is/Ie – Corrente de entrada/saída

Ve/Vs – Tensão de entrada/saída

Vr – Tensão sob o regulador

Vb – Tensão resistência interna bateria

LISTA DE INPUT

DESEMPENHO	Tempo de Voo	180 segundos
CARGAS	Torque do Aileron	0,535 Kg.cm
	Torque do Leme	0,370 Kg.cm
	Torque do Profundor	1,458 Kg.cm
	Torque da Portinhola	1,570 Kg.cm

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVO.....	5
3. SELEÇÃO DOS COMPONENTES	5
3.1. SISTEMA RÁDIO E CONTROLE	5
3.1.1. RECEPTOR E ANTENAS	5
3.1.2. ENSAIO DE INTERFERÊNCIA DO CARBONO NAS ANTENAS	5
3.2. SERVOS ATUADORES	8
3.2.1. VALIDAÇÕES DOS SERVOS ATUADORES.....	9
3.3. PACK DE BATERIAS	10
3.4. REGULADOR DE TENSÃO	11
3.5. CABLAGEM	15
4. FMEA.....	18
5. CONCLUSÃO	19

1. INTRODUÇÃO

Este relatório visa a melhor escolha de todos os componentes elétricos da aeronave, garantindo um bom funcionamento na parte de segurança e desempenho.

2. OBJETIVO

Através deste relatório visou-se aperfeiçoar da melhor forma possível toda parte elétrica da aeronave, com ensaios e análises comprovando os dados obtidos no relatório, buscando atingir melhor eficiência e segurança com menor peso e custo possível.

3. SELEÇÃO DOS COMPONENTES

Para a seleção dos componentes levou-se em conta todos os dados fornecidos das outras áreas como estrutura, cargas, aerodinâmicas, desempenho, estabilidade e controle, visando atender todos os valores necessários com o menor peso, atingindo uma melhor eficiência e segurança.

3.1. SISTEMA RÁDIO E CONTROLE

O rádio controle escolhido foi JR DSM 12X de 2.4Ghz, apresentou ótimo desempenho em anos anteriores e por ter redundância de antenas e receptores. Para evitar o contato com o carbono as antenas foram enteladas juntas com madeira, garantindo melhor funcionamento, sua comprovação está no ensaio de interferência do carbono nas antenas.

3.1.1. RECEPTOR E ANTENAS

O receptor utilizado é o JR DSM R1221 de 6.0V e 2.4GHz com 12 canais e duas antenas. Ele é a prova de falhas caso ocorra interferência de sinal externo ou baixa tensão de bateria. Por ter sido utilizado em anos anteriores e não demonstrou defeitos, logo, possui uma alta confiabilidade.

3.1.2. ENSAIO DE INTERFERÊNCIA DO CARBONO NAS ANTENAS

Com o auxílio de um medidor de espectros pode-se quantizar a interferência que ocorre no sinal que chega ao receptor quando a antena está em contato com material composto de carbono. Configurou-se a frequência central para 2,4Ghz e a faixa de varredura para 500Mhz. Ajustou-se a

amplitude de referência para 0dBm e o filtro de banda configurou para 1Mhz. Realizou-se um pequeno ajuste no medidor regulando a portadora com uma banda lateral.



Figura 1: Bancada de teste das antenas.

Inicialmente o ensaio foi realizado sem interferência na antena, com atenuação de -19,28 dBm na portadora, como pode ser observado na figura 2.

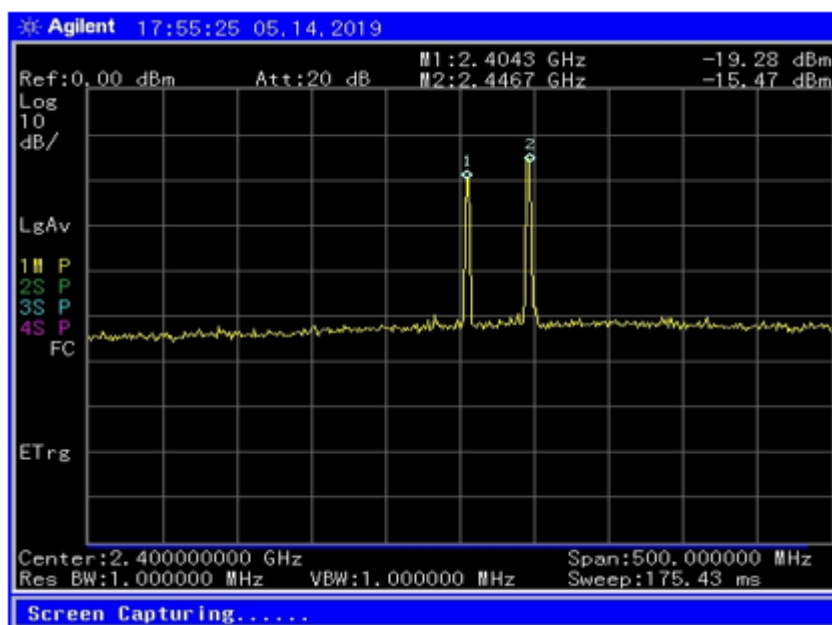


Figura 2: Tela do analisador de espectros da antena sem interferência.

Realizou-se uma segunda análise com uma caixa feita de carbono e resina envolto da antena para observar a interferência, teve um aumento da portadora para -26,85 dBm, como pode-se observar na figura 3.

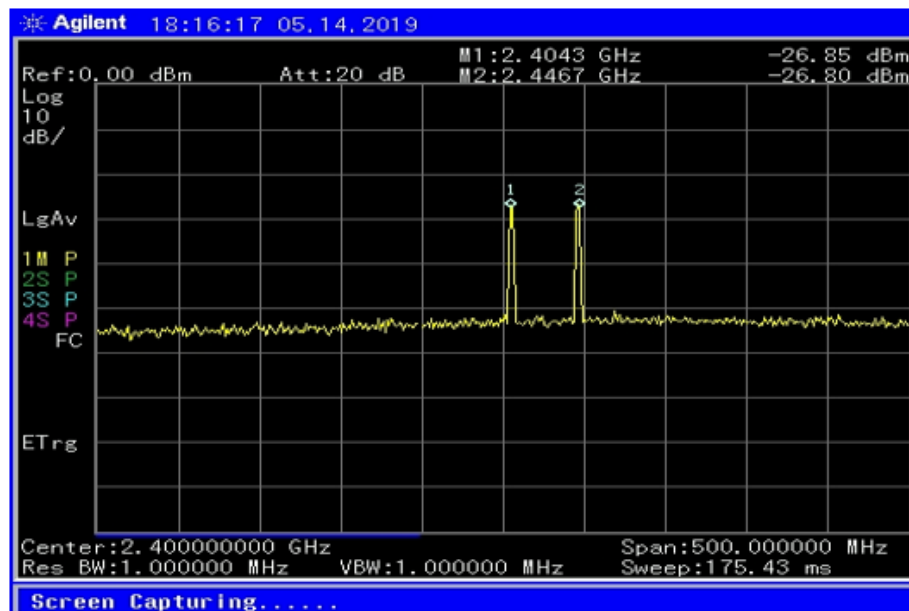


Figura 3: Tela do analisador de espectros da antenna com interferência de carbono e resina.

Para a próxima análise utilizou-se uma caixa feita apenas com resina para observar a interferência que a antenna sofre. Teve uma diminuição da portadora para -14,20 dBm, como pode-se observar na figura 4.

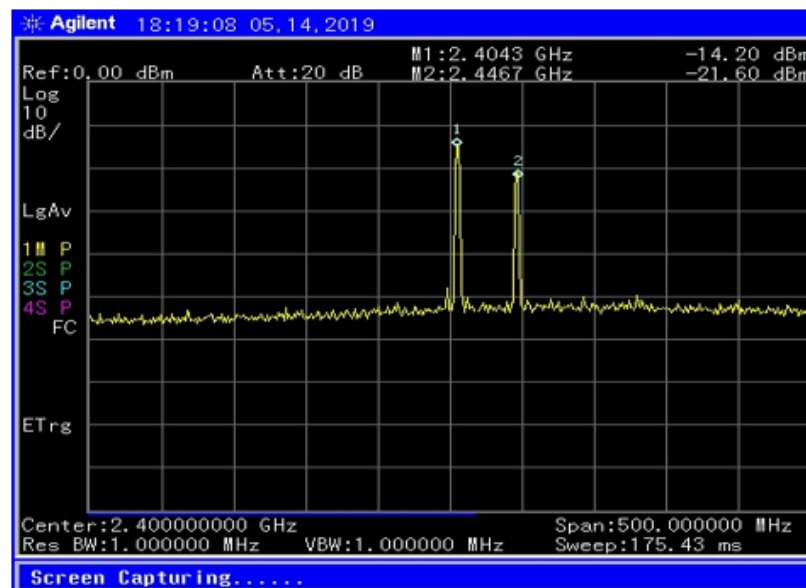


Figura 4: Tela do analisador de espectros da antenna com interferência de somente resina.

Conclui-se que os resultados obtidos neste ensaio estavam dentro do esperado pela equipe, a antenna perde rendimento em contado com carbono, já que a resina contribui minimamente para a diminuição da atenuação.

3.2. SERVOS ATUADORES

Conhecendo-se o esforço máximo requerido para um bom funcionamento de cada superfície de controle, realizou-se uma pesquisa de mercado em busca de servos que atendessem os requisitos de torque necessário com a menor massa.

De acordo com o input de cargas, esta pesquisa encontrou para cada sistema de controle os seguintes servos motores na tabela 1.

Tabela 1: Dados dos Servos Motores

Sistema de Comando	Servo-Atuador	Tensão [V]	Torque requerido (Kg.cm)	Massa [g]	Imáx [A]
<i>Aileron (E)</i>	FUTABA S3114	4,8 – 6,0	0,535	7,8g	0,58
<i>Aileron (D)</i>	FUTABA S3114	4,8 – 6,0	0,535	7,8g	0,58
<i>Profundor</i>	Turnigy 390DMH	4,8 – 6,0	1,458	22,5g	0,99
<i>Leme</i>	FUTABA S3114	4,8 – 6,0	0,37	7,8g	0,58
<i>Trem Dianteiro</i>	Turnigy 390DMH	4,8 – 6,0	0,717	22,5g	0,99
<i>Porta do Compartimento de Carga</i>	Turnigy 390DMH	4,8 – 6,0	1,57	22,5g	0,99

Considerando uma situação crítica de voo, utilizou-se a equação 2 para o cálculo da carga máxima exigida, obtendo assim para todos os servos atuadores uma corrente máxima de 1,20 Amperes.

$$I_{\text{máx}}(\text{sistema}) = \Sigma \frac{T_{\text{requerido}}}{T_{\text{disponível}}} \cdot I_{\text{máx}}(\text{servo}) \quad (2)$$

3.2.1. VALIDAÇÕES DOS SERVOS ATUADORES

Notou-se a necessidade de criar um ensaio para validar os dados fornecidos do fabricante e para verificar as cargas requeridas fornecidas pela área de cargas. Os seguintes resultados obtidos pelo ensaio podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: Dados adquiridos no ensaio dos servos atuadores

Ensaio do consumo de carga dos servos pelo torque nominal R = 1,1 Ω							
	Tensão da bateria (V)	Torque estático (kg.cm)	Torque dinâmico (kg.cm)	corrente (mA)	Peso (kg)	Tempo (ms)	Tensão osci. (mV)
JR DS390	4.8	4.3	2.15	1045	2	2.5	950
	6	5.4	2.7	1320	2.5	2.5	1200
Turnigy 390DMH	4.8	4.6	2.3	935	2.1	2.5	850
	6	5.4	2.7	1100	2.6	2.5	1000
JR DS 368BB	4.8	3.82	1.91	990	1.9	2.5	900
	6	4.32	2.16	1045	2.1	2.5	950
Hobbico CS-12MG	4.8	2.59	1.295	880	1.20	2.5	800
	6	3.03	1.515	880	1.46	2.5	800
Futaba S3114	4.8	1.51	0.755	880	0.66	2.5	800
	6	1.73	0.865	1045	0.77	2.5	950

O ensaio foi realizado utilizando um suporte para os servos, ligando-os por um testador de servos conectado a um pack de bateria. Para o monitoramento utilizou-se um osciloscópio. Na coleta do torque um peso foi pendurado no ponto a 1 cm do eixo .Pode-se observar a montagem da bancada de ensaio na figura 5.



Figura 5: Bancada de ensaio do server.

3.3. PACK DE BATERIAS

Na escolha da bateria, analisou-se a máxima corrente que pode ser exigida durante todo o tempo de voo por todos componentes eletrônicos, utilizando a equação 3, determinamos a capacidade de carga mínima necessária. De acordo com a necessidade de carga requerida para o sistema elétrico, realizou-se uma busca de baterias. A bateria selecionada está na tabela 3.

Tabela 3: Dados do pack de baterias

Bateria	Tipo de Célula	Número de Células	Tensão Nominal (V)	Capacidade (mAh)	Fator de Descarga	Descarga de Disparo	Massa (g)
Zippy Flightmax Pack	LiFePo4	2	6,6	700	5C	10C	41

O principal motivo pela escolha do pack de bateria mencionado acima foi pelo desempenho que ela mesma apresentou durante anos anteriores, demonstrando confiabilidade durante o envelope de voo.

3.4. REGULADOR DE TENSÃO

Um ensaio foi realizado para determinar a eficiência do regulador de tensão em condições reais variando a carga e a temperatura de trabalho. O circuito montado para análise pode ser visto na figura 6.

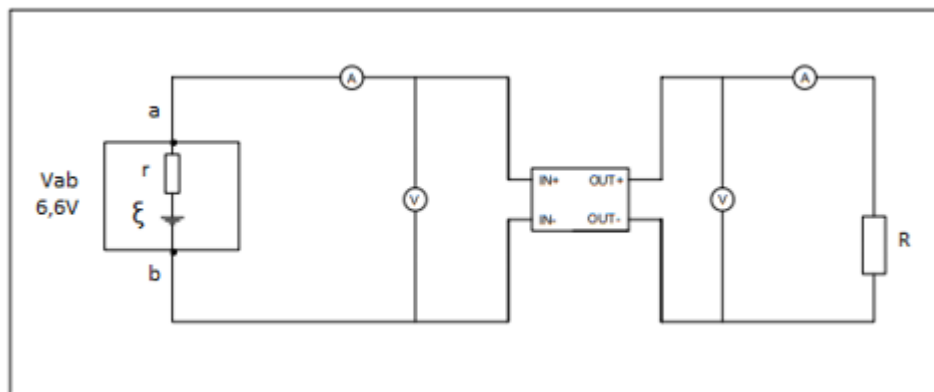


Figura 6: Circuito montado para análise do regulador.

Registrou-se na tabela 4 os valores de corrente, tensão e tensão consumida na carga, utilizou-se para a coleta multímetros e controlou-se a temperatura através de uma lâmpada e um termostato. Os

valores nominais de corrente foram definidos pela equação 3 e o cálculo das potências com a equação

4. A montagem do sistema pode ser vista na figura 7.

$$U = R.I \quad (3)$$

$$P = I.V \quad (4)$$

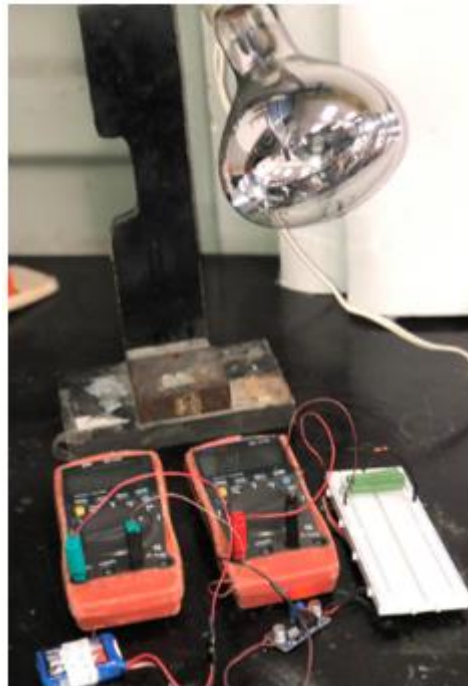


Figura 7: Bancada de ensaio montada.

Os dados coletados podem ser visualizados na Tabela 4:

Tabela 4: Dados do Ensaio do Regulador de Tensão

T (°C)	R (Ω)	I _e (A)	I _s (A)	V _e (V)	V _s (V)	V _r (V)	V _b (V)
20	3,3	1,108	1,089	6,11	4,74	3,67	0,43
	5	0,864	0,848	6,19	4,95	4,15	0,35
	8,3	0,593	0,522	6,19	5,09	4,29	0,35
	10	0,492	0,477	6,19	5,29	4,79	0,35
	15	0,347	0,331	6,41	5,46	4,93	0,13
40	3,3	1,065	1,049	6,07	4,69	3,69	0,47
	5	0,841	0,824	6,17	4,89	4,17	0,37
	8,3	0,581	0,509	6,21	5,01	4,12	0,33
	10	0,497	0,48	6,3	5,31	4,79	0,24
	15	0,282	0,256	6,39	5,53	4,23	0,15

Analisando os resultados obtidos temos a resistência média, potências e rendimentos como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados para conclusão do ensaio.

T (°C)	r (Ω)	Média (Ω)	Pe (W)	Ps (W)	Pr (W)	η (Ps/Pe)	I (A)
20	0,388	0,494	6,77	5,162	3,997	0,762	1,089
	0,405		5,348	4,198	3,519	0,785	0,848
	0,59		3,671	2,657	2,239	0,724	0,522
	0,711		3,045	2,523	2,285	0,829	0,477
	0,375		2,224	1,807	1,632	0,813	0,331
40	0,441	0,493	6,465	4,92	3,871	0,761	1,049
	0,44		5,189	4,029	3,436	0,777	0,824
	0,568		3,608	2,55	2,097	0,707	0,509
	0,483		3,131	2,549	2,299	0,814	0,48
	0,532		1,802	1,416	1,083	0,786	0,256

Através dos dados obtidos é possível ver que a temperatura não influencia na eficiência do regulador. O regulador interno do receptor e queda de tensão provam a funcionalidade dos servos motores para uma bateria de 6,6V.

Por final realizou-se um ensaio da mesma bateria ligada em um regulador de tensão criado pela própria equipe, a utilização de um Led vermelho possui a funcionalidade para mostrar quando o circuito está ligado. Pode-se ver o esquema eletrônico do regulador na figura 8.

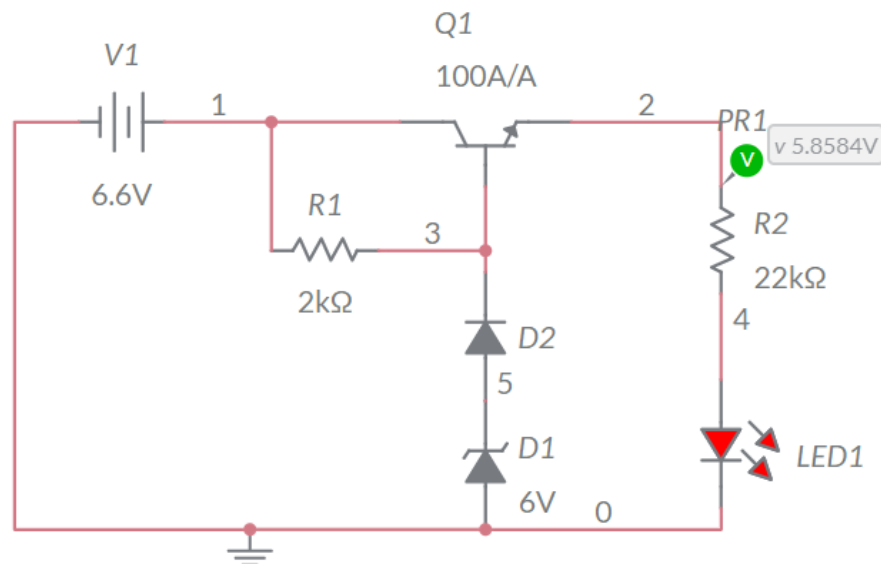


Figura 8: Diagrama Eletrônico do Regulador de Tensão.

Descarregou-se a bateria ligada no regulador e com um Arduino Uno coletou-se os todos os dados e transformou-se no gráfico da figura 9.

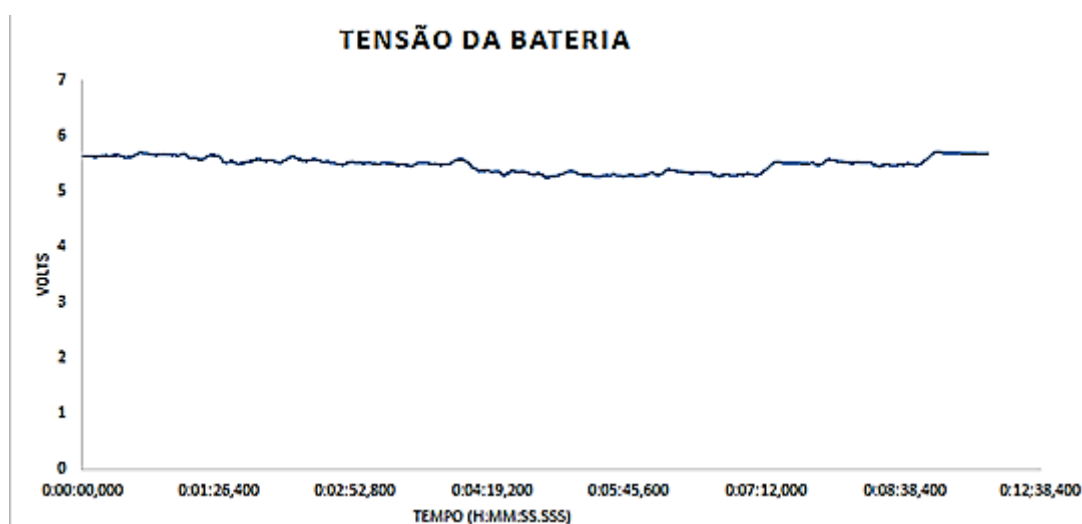


Figura 9: Dados da descarregem da bateria com o regulador.

Interpretou-se o resultado da figura 9 e a equipe chegou na conclusão que para um funcionamento perfeito deveria ter um degrau maior entre a tensão fornecida pela bateria e a tensão requerida, pelo TBJ utilizado no regulador este degrau dever ser aproximadamente 1,5V. Para atingir este intervalo um estudo para um pack de bateria com voltagem maior, em torno de 9,9V ou colocando dois packs atuais em série, porém, possui a desvantagem do aumento do PV da aeronave.

3.5. CABLAGEM

O dimensionamento da cablagem tem como objetivo a interligação dos componentes eletrônicos de forma eficiente e segura. Um estudo foi realizado afim de determinar a eficiência dos fios em relação á sua perda de tensão no decorrer de sua extensão. Para isso, realizou-se um ensaio para os dois tipos de fios disponíveis. Pode-se ver a figura 10.

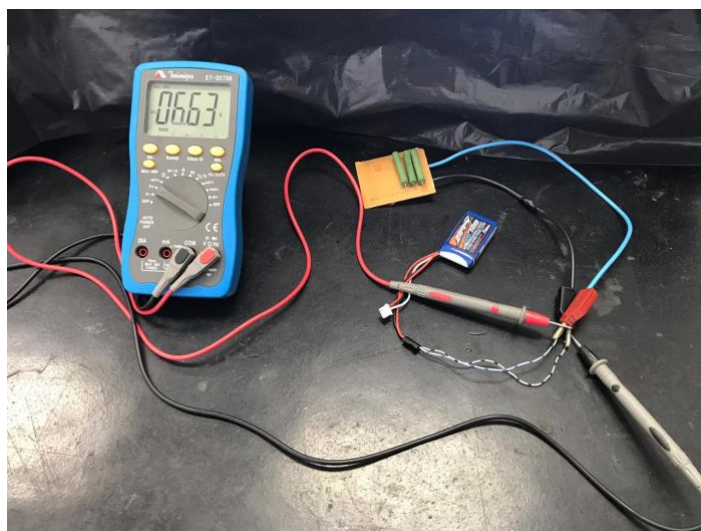


Figura 10: Medindo a tensão para encontra a resistência interna da bateria.

Utilizou-se no ensaio duas amostras de 50cm de cada fio de bitolas diferentes, aplicando a tensão de nosso pack de bateria, aproximadamente 6,6V, variando a carga R_l para que seja consumido diferentes valores de corrente. O resultado do ensaio pode ser observado na tabela 6.

Tabela 6: Dados do resultado do ensaio de Cablagem.

Bitola dos Fios (mm^2)	Resistência Interna (Ω/cm)	Corrente (A)	Tensão de Saída (V)	Tensão sobre o fio (V)	Erro por Imprecisão do Equipamento (mV)
1,5	0,032	1,58	5,752	5,966	10
2,5	0,048	1,48	5,9	6,078	10

Os seguintes resultados foram obtidos utilizando as tabelas 7 e 8.

Tabela 7: Dados dos Fios

2,5mm ²		1,5mm ²	
Sem Carga (V)	Com Carga (V)	Sem Carga (V)	Com Carga (V)
6,73	6,08	6,63	6,01
6,59	6,11	6,51	6,03
6,58	6,08	6,54	5,95
6,53	6,06	6,5	5,94
6,53	6,06	6,46	5,9
Média		Média	
6,592	6,078	6,528	5,966

Utilizou-se os dados da tabela 6 é possível encontrar a resistência interna da bateria com a equação 5.

$$R_{in} = R_l \times \frac{(V_{in} - V_l)}{V_l} \quad (5)$$

Tabela 8: Dados das Perdas nos Fios

Fio 2,5mm ²		Fio 1,5mm ²	
Com Carga (V)	Na Carga (V)	Com Carga (V)	Na Carga (V)
6,08	5,95	6,01	5,84
6,11	5,95	6,03	5,58
6,08	5,92	5,95	5,87
6,06	5,91	5,94	5,75
6,06	5,77	5,9	5,72
Média		Média	
6,078	5,9	5,966	5,752

Para calcular os valores teóricos utilizou-se a equação 6.

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \quad (6)$$

Com 50cm de fio de 2,5mm² atingiu-se um valor de 0,048Ω/cm, com uma perda de tensão de 0,178V. Com 50cm de fio de 1,5mm² atingiu-se um valor de 0,032 Ω/cm, com uma perda de tensão de 0,214V. Concluiu-se que a melhor opção seria o fio com maior bitola, fornecendo uma melhor performance do sistema, mesmo que ocorra um aumento do PV.

4. FMEA

Tabela 9: Análise de FMEA

Componente	Falhas Potenciais					Controles Atuais			N.P. R
	Modo	Efeito	Severidade	Causa	Ocorrência	Prevenção	Deteção	Deteção	
<i>Antenas, Rádio Controle e Receptor</i>	Falha na transmissão do sinal	O avião não decolar ou cair durante o voo	10	Não estar devidamente posicionados	3	1. Integrantes aptos para realizar a instalação e manutenção do circuito.	Testes de funcionamento antes do voo	3	90
				Estar em contato com carbono	1				30
				Antena danificada	4				120
				Fora do alcance máximo permitido	2				60
<i>Baterias</i>	Descarga completa	Perda do controle da aeronave	10	1. Fios desencapados decorrendo em curto-circuito 2. Não conferir estado da carga	2	1. Verificação da tensão através do Voltwatch antes dos voos 2. Isolar os conectores com fita isolante	Checagem percentagem de carga da bateria, do estado físico da cablagem e sistema elétrico como um todo.	2	40
	Mal contato entre os terminais	Não fornecimento de energia ao sistema	7	Má instalação elétrica					28
<i>Extensões</i>	Curto-circuito	Queima de servo ou danificação da bateria	6	Fio desencapado	2	Inspeção dos fios	Verificação através do teste de continuidade e testes com a recepção de sinal	5	60
	Não condução de corrente ou transmissão de sinal	Falha no sistema elétrico como um todo.	10	Mal contato entre o ligamento dos conectores	5	armazenamento correto da cablagem			250
<i>Regulador de tensão</i>	Regulação abaixo da nominal para servos	Não funcionamento dos servos	6	Diferença de tensão de entrada e saída menor que 1,5V	5	Utilizar bateria carregada a uma percentagem com >80%	Checagem através do multímetro	1	30
<i>Servo-atuadores</i>	Ausência de resposta ou movimento inesperado	Desestabilização da aeronave	7	1. Servo queimado ou danificado	5	Utilização de servos em bom estado	Testes dos comandos e teste de continuidade e das extensões	1	35

5. CONCLUSÃO

As escolhas dos componentes utilizados na aeronave baseando em todos os ensaios realizados são adequados a suportar as situações críticas de voo durante todo o período da competição, garantindo a segurança necessária.