



COLÉGIO
VALSASSINA



· **SKID** ·
— PROJECT —

SKID PROJECT

THE UNFLIPPABLE BOAT

João Ferreira | Pedro Tereno | Luís Henriques

INDICE

1. Resumo
2. Palavras- chave
3. Divisão de tarefas
4. Tema
5. Objeto de estudo
6. Introdução teórica
7. Questão inicial
8. Motivação
9. Publico alvo
10. Aspetos inovadores ou vantagens em relação a soluções já existentes
11. Metodologias/procedimentos/técnicas
12. Segundo Período
13. Terceiro Período
14. Dificuldades encontradas
15. Materiais

1 - RESUMO

O nosso projeto consiste num barco que contém no seu interior um total de 3 BLDC (brushless dc motors) aos quais serão ligados pesos circulares, maquinados de forma a serem mais grossos nas bordas que no centro; este sistema tem por objetivo estabilizar navio perante más condições atmosféricas através da conservação do momento angular, permitindo-nos, também, alterar a atitude direcional deste sem a necessidade de ter qualquer peça exterior móvel, através da utilização dos pesos como reaction wheels. Para além disso, a propulsão do barco irá provir de um MHD (magnetohydrodynamic motor), montado por nós, constituído por duas barras de latão, dois ímanes e uma fonte de alimentação; Este motor funciona aplicando uma força de Lorentz sobre as partículas carregadas na água propulsionando assim a embarcação.

2 - PALAVRAS-CHAVE

Nós escolhemos estas palavras-chave que estão diretamente relacionadas com o tema de trabalho:

1. Reaction Wheels
2. Estabilização de Embarcações
3. Propulsão Eletromagnética
4. Navio Resistente

.

3 - DIVISÃO DE TAREFAS

João Ferreira:

- Modelação 3D
- Montagem/soldagem circuito BLDC V₁
- assiste na soldagem da PCB

Pedro Tereno:

- Teoria prática
- Organização do Relatório
- Montagem de componentes mecânicos

Luís Henriques:

- Design de Circuitos
- Design de PCBs
- Soldagem de PCBs
- Organização do projeto

4 - TEMA

Estamos a investigar um barco sem peças móveis no exterior que utiliza reaction wheels para se estabilizar na presença de más condições atmosféricas.

5 – OBJETO DE ESTUDO

Temos como objetivo:

Estabilidade e controlo de movimento, dado que utilizamos três reaction wheels, orientadas nos três eixos de rotação, no interior do barco, que, ao utilizarem pesos circulares, garantem uma alta estabilidade, impedindo que o barco capote facilmente. Além disso, este sistema permite que o barco seja rodado e virado sem a necessidade de componentes externos de movimento, aumentando a flexibilidade e a robustez do sistema de controlo.

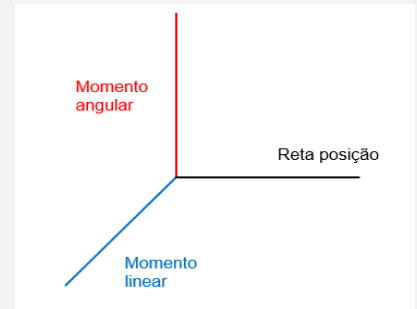
Conseguir movimento a partir de MHD's, pois este gera movimento através da interação de um campo magnético com as partículas carregadas na água do mar, criando uma força de Lorentz. Isso elimina a necessidade de propulsores mecânicos tradicionais, como hélices ou turbinas, resultando em um sistema mais silencioso, eficiente e com menor desgaste.

O projeto também busca demonstrar a viabilidade de tecnologias avançadas de propulsão (MHD) e controle de estabilidade (reaction wheels), com um design que pode ser replicado ou adaptado para outras aplicações de embarcações.

6 – INTRODUÇÃO TEÓRICA

Momento angular

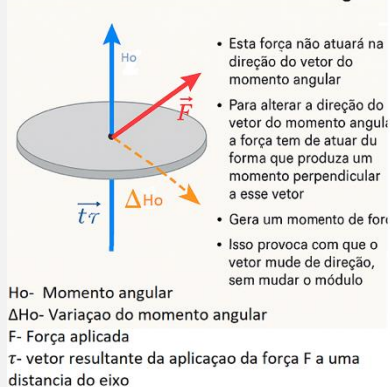
Momento da quantidade de movimento de uma partícula em relação a um referencial neste instante, ou seja, é uma grandeza física que descreve a quantidade de movimento rotacional de uma partícula ou sistema de partículas em relação a um ponto fixo. É parecido com a quantidade de movimento linear, mas aplicado ao movimento em torno de um eixo ou ponto.



Variação do momento angular

É a diferença entre o momento angular final e o momento angular inicial de uma partícula ou sistema, causada normalmente pela ação de forças externas que geram um momento de força (ou momento de força)

Características da força gerada quando se tenta alterar o vetor do momento angular



Características da força gerada quando se tenta alterar o vetor do momento angular

Esta força não atuará na direção do momento angular, para alterar a direção do vetor do momento angular, a força tem de atuar de forma que produza um momento perpendicular a esse vetor. Isso provoca com que o vetor mude de direção, sem mudar o modulo

Gera um momento de força. A força aplicada não passa pelo centro de rotação, criando assim um momento de força. Esse momento é o que provoca a variação do momento angular, depende da posição onde é aplicada, aplicar a mesma força mais longe do eixo de rotação causa uma variação mais eficaz no momento angular (maior momento de força)

Pode alterar a direção, o sentido ou o módulo do momento angular a depender da orientação da força, pode:

- Aumentar ou diminuir a velocidade de rotação
- Mudar a orientação do eixo de rotação

Momento de inercia

O momento de inércia é uma grandeza física que quantifica a resistência de um corpo à variação de sua rotação em torno de um eixo fixo, sendo diretamente relacionado à distribuição de massa do corpo em relação a esse eixo. Quanto mais distante a massa estiver do eixo de rotação, maior será o momento de inércia, o que significa que é mais difícil fazer o corpo girar ou parar de girar. Ele depende não só da massa total do corpo, mas principalmente de como essa massa está distribuída. Matematicamente, é calculado como a soma (ou integral, no caso de corpos contínuos) dos produtos da massa de cada parte do corpo pela distância ao quadrado em relação ao eixo. Assim, o momento de inércia é fundamental na dinâmica rotacional, aparecendo na relação entre torque e aceleração angular, desempenhando papel semelhante ao da massa no movimento linear.

$$\tau = I \cdot \alpha$$

Momento de inercia = torque * aceleração angular

O momento de inércia representa a resistência de um corpo à variação do seu estado rotacional. Ele depende diretamente da massa do objeto e de como essa massa está distribuída em relação ao eixo de rotação.

No projeto referimos que os pesos são circulares e maquinados para serem mais grossos nas bordas, o que é excelente porque:

- Aumenta o momento de inércia, visto que mais massa está afastada do eixo de rotação;
- Um maior momento de inércia permite gerar mais momento angular para uma dada velocidade de rotação

Com base na lei da conservação do momento angular, se um peso interno (reaction wheel) é acelerado numa direção, o barco tende a girar na direção oposta (princípio de ação e reação). O momento de inércia elevado:

- Aumenta o efeito rotacional da reaction wheel sobre o corpo do barco;
- Permite manobras mais precisas e eficazes, mesmo com massas relativamente pequenas.

Portanto, o momento de inércia é crucial para provar que o sistema tem força suficiente para estabilizar ou alterar a orientação do barco, mesmo em mar agitado, sem componentes externos móveis.

Com um momento de inércia bem calculado e motores adequados, conseguem:

- Gerar torque suficiente para alterar ou manter a orientação do barco, sem necessitar de lemes, hélices orientáveis ou superfícies móveis, como antes referido no resumo do projeto.
- O momento de inércia não só ajuda a provar que o sistema pode funcionar, como é essencial para que funcione. Com os pesos bem projetados e motores adequados, o barco poderá usar conservação de momento angular para se orientar e estabilizar de forma eficaz e inovadora.

Como calcular o momento de inércia

Barco (parte exterior)

$$I_z = \frac{1}{5} M(a^2 + b^2)$$

Onde:

M = massa do barco

a = semi-eixo maior (meia largura)

b = semi-eixo menos (meia altura)

Resultado final do momento de inercia das partes exteriores do
barco = $2.425 \times 10^{-2} \text{ Kgm}^2$

Reaction wheels

Disco fino

$$I = mr^2$$

Resultado final do momento de inercia das reaction wheels =
= $6.696 \times 10^{-4} \text{ KGM}^2$ (x3 discos finos)

Bateria

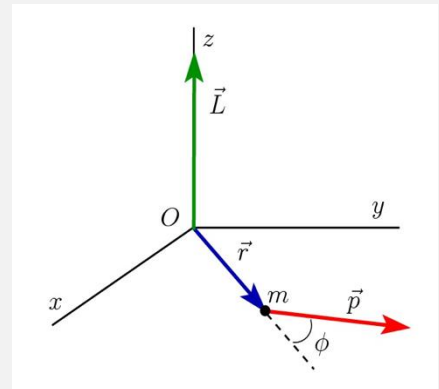
Paralelepipedo retangular

$$I = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$$

Resultado final do momento de inércia da bateria = $5.811 \times 10^{-4} \text{ Kgm}^2$

Conservação do momento angular

- Considerando uma única força, atuando sobre uma partícula esta força estando dirigida para um ponto zero (origem) diz-se que a partícula está em movimento sob ação de uma força central, tira-se por conclusão que a soma do movimento das forças indique que a taxa de variação de momento angular é igual a zero. Isto é, o momento angular de uma partícula sob ação de uma força central mantém-se constante tanto à intensidade com em direção
- Uma partícula sob ação de uma força central desloca se num plano fixo perpendicular ao momento angular
- Num conjunto de aplicações, estas necessitam de uma resolução cujo problema envolve forças centrais, e cujo momento de cada uma das forças, em relação a um ponto fixo quando somados, o resultado vai ser nulo definindo o momento angular do sistema (de partículas) em relação um ponto zero enquanto constante.



A noção de conservação da quantidade de movimento para um sistema de partículas indica, que a soma das forças externas é nula, ou seja, o centro de massa do sistema possui um movimento uniforme segundo uma linha reta, e o movimento angular do sistema segundo o centro de massa é conservado. Concluindo se o momento linear for constante haverá conservação do momento angular

- Considerando um corpo rígido se não atuarem forças externas, o impulso das forças será nulo, o que faz com que em instantes diferentes a quantidade de movimento para o sistema seja equipolente, ou seja, em igual valor (possui o mesmo módulo, direção e sentido).
- Esta noção indica que os momentos angulares em ambos os instantes conservam-se em relação a qualquer ponto (momento angular total). Caso exista situações de não conservação da quantidade de movimento, mas se verifique conservação do momento angular, tal ocorre sempre que as linhas de ação de forças externas passam pelo ponto zero que se escolha.

Concluindo: se não houver conservação do momento linear, ainda pode haver conservação do momento angular quando as respectivas forças externas têm a direção da força central

Como estes conceitos teóricos se aplica à embarcação

A conservação do momento angular é um princípio fundamental da dinâmica que pode ser aplicado de forma eficaz à estabilização de uma embarcação em condições atmosféricas adversas. Quando o navio se encontra sujeito a forças externas — como o vento, as ondas ou as correntes marítimas — estas podem criar momentos de força que tentam alterar a sua orientação ou direção de rotação.

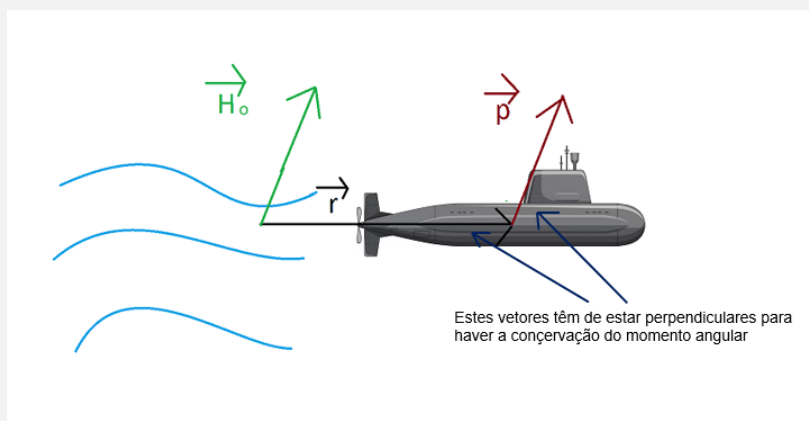
No entanto, se a embarcação for projetada de forma a controlar ou anular o efeito dessas forças, garantindo que:

- As forças externas atuam na direção de uma força central
- O sistema está equilibrado de modo a que não haja variação do momento angular, então o navio manterá estável a sua orientação e seguirá uma trajetória previsível, sem oscilações ou rotações indesejadas.

Assim, mesmo que haja variações no ambiente, o momento angular pode manter-se constante, assegurando:

- Estabilidade rotacional,
- Segurança na navegação,
- E precisão na direção.

Portanto, ao aplicar os conceitos de momento angular, momento de força e sua conservação, é possível compreender e justificar a eficácia de sistemas de estabilização em embarcações modernas, tornando-as mais eficientes e seguras perante condições marítimas adversas.



Como se torna evidente que o barco não roda, segundo a teoria

Mesmo que existam forças externas que tentem alterar a orientação do barco, a embarcação está equipada com reaction wheels com elevado momento de inércia, que:

- Ao serem aceleradas, geram um momento angular oposto ao movimento indesejado;
- Compensam o torque externo através do princípio da conservação do momento angular (ação e reação);
- Resultando novamente em estabilidade da embarcação.

Como:

- O sistema possui momentos de inércia calculados que garantem eficácia,
- E o barco gera torque interno suficiente para contrariar rotações indesejadas,

Então torna-se evidente que o barco pode resistir à rotação e manter-se estável, sem rodar, mesmo em presença de perturbações.

7 – QUESTÃO INICIAL

Será possível fazer um barco com estabilidade suficiente para não ser afetado por correntes, ventos e ondas?

8 – MOTIVAÇÃO

O professor recomendou a ideia de fazer uma embarcação com reaction wheels para resistir a mau tempo e nós adoramos a ideia de fazer embarcações mais seguras e robustas. Pouco depois desta recomendação um dos elementos do nosso grupo veio a encontrar um vídeo sobre MHDs na internet e apercebeu-se que estes poderiam ser uma mais-valia numa embarcação que opera em condições adversas.

9 – PÚBLICO-ALVO

- Indústria naval e de embarcações
- Serviços de resgate e emergência marinha
- Setor naval militar

10 – ASPETOS INOVADORES OU VANTAGENS EM RELAÇÃO A SOLUÇÕES JÁ EXISTENTES

- Sistema de Controlo com reaction wheels:
 - Alta estabilidade e controlo preciso
 - Controlo de direção sem peças externas
 - Maior facilidade de manutenção

Propulsão por Magneto-hidrodinâmica:

- Sem partes móveis
- Maior eficiência e menor ruído

Tecnologia Disruptiva e Potencial para Novas Aplicações:

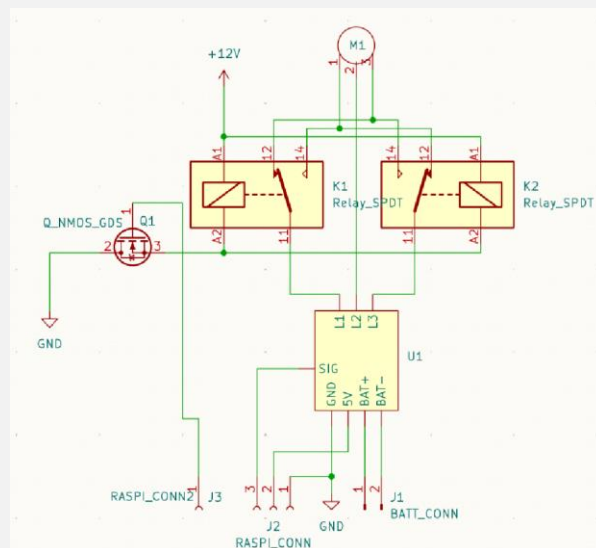
- Inovação no design e aplicação de reaction wheels
- Potencial de adaptação para outras plataformas

11 - METODOLOGIAS/PROCEDIMENTOS/TÉCNICAS

No primeiro período o grupo esteve dividido entre dois componentes fundamentais do projeto, a montagem e testes do BLDC e do seu circuito de controlo, e a montagem, testes e investigação necessária para o desenvolvimento do protótipo do MHD, contudo, houve processos a correr em paralelo como a modelação 3D do chassis e a escrita do relatório.

- **Montagem/testes do Motor (BLDC):**

O professor recomendou a ideia de fazer uma embarcação. O processo de montagem do circuito de controlo do BLDC passou por soldar o circuito, cujo diagrama se encontra na imagem abaixo, constituído por um controlador de velocidade eletrónico (U1), o próprio BLDC (M1), dois relés automóveis (K1, K2) (que permitem a inversão do sentido de rotação do BLDC, através da inversão da ordem das fases nas bobinas do motor) e um MOSFET (Q1) que permite o acionamento simultâneo dos dois relés (que são operados a 12V) com uma tensão de controlo de 3,3V.



Quanto à testagem, esta foi feita através da ligação do ESC e do MOSFET a um micro computador raspberry pi 4 e utilizando uma bateria S2 para alimentar o motor, a mesma que alimentará este na versão final do projeto, e dos relés através de uma fonte de alimentação externa, que é substituída por um boost converter alimentado pela mesma bateria S2 na versão final.

- **Montagem/testes do MHD:**

O MHD é constituído por dois ímanes de neodímio isolados com fita de poliamida orientados paralelamente, de tal modo a obter o campo magnético mais uniforme possível, estando estes separados por duas chapas de latão colocadas perpendicularmente aos ímanes, sendo estrutura toda suportada por mais fita de poliamida.

Anteriormente foi usado fita isoladora em vez de fita de poliamida mas esta degradava-se na presença de um dos produtos resultantes da reação química que ocorre secundariamente ao funcionamento do MHD, a eletrólise da água salgada, que liberta cloro e e hidróxido de sódio (embora em quantidades muito reduzidas comparativamente com o volume de água disponível).

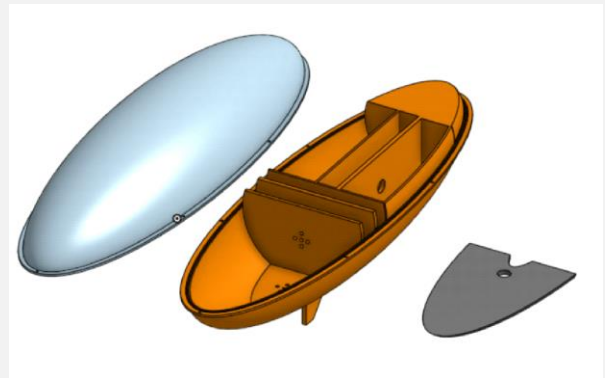
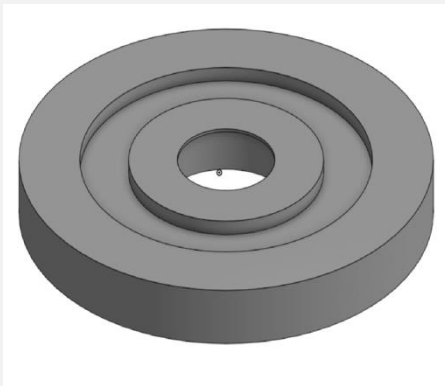
No MHD as barras de latão servem como elétrodos que geram um campo elétrico, O funcionamento do MHD resulta da aplicação de uma força de Lorentz nos iões de sódio presentes na água, sendo esta igual ao produto externo entre a densidade de corrente e o campo magnético, sendo assim o MHD mais eficiente quando o campo elétrico encontra-se perpendicular ao campo magnético.

A testes do MHD passou pela submersão deste numa caixa cheia de água salgada à salinidade de $\approx 35\text{g/L}$, a salinidade do oceano atlântico, e pela alimentação do MHD a partir de uma fonte de alimentação externa a 24V, observando a velocidade de saída de "bolhas" criadas pelos gases resultantes da eletrólise que acontece paralelamente devido à presença de um campo elétrico. Esta medição de velocidade não foi rigorosa sendo apenas um indicador aproximado do funcionamento do MHD.

No futuro, tencionamos colar o MHD a uma plataforma flutuante para avaliar o seu verdadeiro potencial enquanto método de propulsão.

- **Modelação 3D:**

A nossa modelação 3D foi feita no software Onshape, onde neste momento temos produzidos o próprio corpo do barco, tal como os pesos que iram ser colocados nos motores



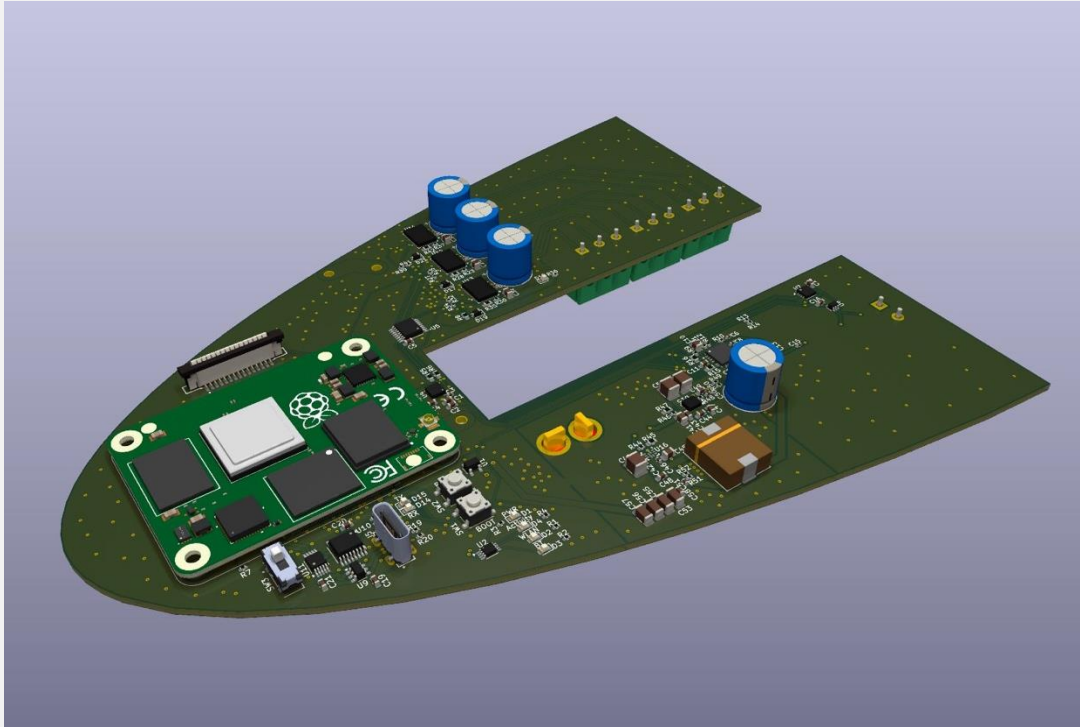
12 – SEGUNDO PERÍODO

No segundo período estivemos divididos entre a modelação 3d, que já vinha do período passado, design, montagem do pcb e investigar a parte teórica em livros sobre a conservação do momento angular e como prova que o nosso trabalho irá funcionar.

- **Eletrónica**

No início do segundo período, em janeiro tivemos a tentar que o circuito de controlo do BLDC desenhado e testado no primeiro período funcionasse, eventualmente conseguimos, com tudo o circuito era caro e pouco fiável e por essa razão no modelo final optamos por um circuito integrado (IC) que faz o mesmo numa peça única e barata, colocada na PCB que desenhamos ao longo de janeiro e fevereiro. Esta PCB dispõe de um Raspberry Pi Compute Module 4 (CM4) que é uma versão do Raspberry Pi model 4 para aplicações integradas, para recolher informação acerca da sua orientação a PCB dispõe também de um IMU (inertial measurement unit). Na PCB existem também 3 ICs controladores de motores BLDC, 2 conversores de tensão para passar os 7.4V da bateria para as diversas tensões utilizadas pelo sistema e de um circuito de controle feito a propósito para o MHD. Para propósitos de debugging a PCB dispõe de um port USB-C de um botão de boot mode e de reset.

Modelo 3D da pcb:



13 – TERCEIRO PERÍODO

No terceiro período estivemos divididos entre a montagem da embarcação, testagem, trabalhar nas placas, no processador e investigar a parte teórica em livros sobre a conservação do momento angular e como prova que o nosso trabalho irá funcionar.

Para ter tudo a funcionar temos que:

- Reparar a placa frita o quão mais rápido der, após a chegada dos componentes
- Resolver a irregularidade de tensão
- Programar a placa
- Fazer os motores e pesos caberem no barco

Parte teórica

Para fazermos a parte teórica que envolve a conservação do momento angular, tivemos que investigar 2 livros universitários. Este trabalho teórico tem como intenção, vir a provar que o nosso objetivo é possível de ser alcançado a partir dos conceitos indicados.

Livros:

- Mecânica Vectorial para Engenheiros - Dinâmica 6ª; editora McGraw Hill; Ferdinand P. Beer / E. Russel Johnston Jr.
- Mecânica Vectorial para Engenheiros - Estática 6ª; editora McGraw Hill; Ferdinand P. Beer / E. Russel Johnston Jr.

14 – DIFICULDADES ENCONTRADAS

- Curto-circuito no MHD devido a mau isolamento dos ímanes em relação às barras de cobre, problema que levou demasiado tempo a diagnosticar.
- Libertação de óxidos de latão solúveis em água, de cor verde, por parte do MHD, poderá ser resolvido através da utilização de um ânodo sacrificial no interior da embarcação.
- Termos tempo suficiente para fazer tudo.
- O processador teve um curto-circuito por causa de uma falha na placa programadora
- A tentar diagnosticar este problema curto-circuitamos 1 placa provocámos um curto-circuito na segunda placa e no segundo processador devido a uma falha a fazer trouble shooting de uma irregularidade de tensão
- Colocar o corpo do barco à prova de água com uma pincelada de apoxy

15 - MATERIAIS

- 3 BLDC
- 1 Raspberry pi CM4
- 2 Barras de latão
- Fita Kapton
- Fita Isoladora
- 58 Condensadores
- 9 LEDs
- 9 Díodos zener
- 3 Díodos Schottky
- Conectores (USB, parafusos, etc.)
- 3 Bobinas
- 52 Resistências
- 2 push-buttons
- 1 toggle-switch
- 16 ICs (vários)



COLÉGIO
VALSASSINA



· **SKID** ·
— PROJECT —