

**PLANO DE TRABALHO DE PESQUISA**

**1 – IDENTIFICAÇÃO**

Nome do Bolsista Gabriel Pereira Santhiago	Matrícula 117250926
Título do Programa PRH18-ANP: Sistemas Oceânicos e Tecnologia Submarina para Exploração de Petróleo e Gás e Energias Renováveis.	
Título do Curso / Especialização: Engenharia Naval e Oceânica	
Instituição Universidade Federal do Rio de Janeiro	Sigla UFRJ
Nome do Orientador (1) Paulo de Tarso T. Esperança	Nome do Orientador (2) Marcelo de Araujo Vitola

**2 – TÍTULO DO TRABALHO**

Construção de um Glider de Baixo custo para monitoramento de região próxima à plataforma offshore.

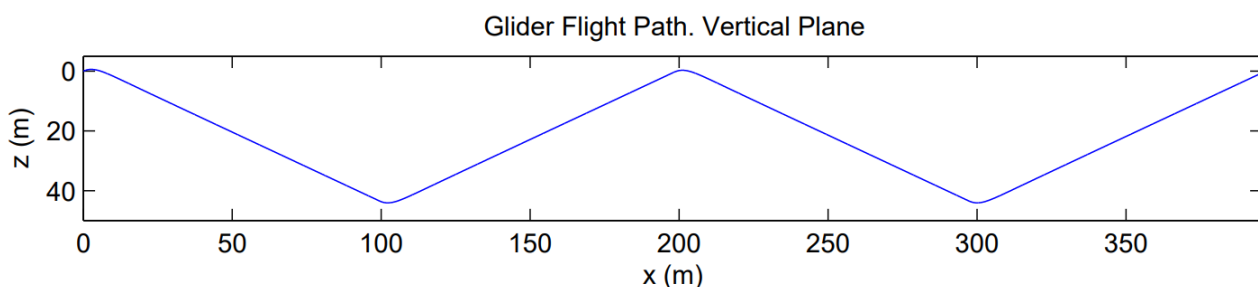
**3 – INTRODUÇÃO / OBJETIVO (no máximo 1 página)**

Atualmente, existem diversos tipos de veículos submarinos autônomos (AUV's) em desenvolvimento e/ou em uso. Suas características variam de acordo com suas necessidades de aplicação e o ambiente em que estão sendo empregados. Uma das principais distinções entre os modelos existentes é feita com relação ao tipo de propulsão utilizada. No geral, os AUV's podem-se utilizar de até três métodos diferentes de propulsão: a ativa, a passiva ou a híbrida.

Os veículos autônomos do tipo Glider fazem uso do segundo método mencionado acima, a propulsão passiva. Esse tipo de propulsão não utiliza hélice e o movimento do veículo pode ser decomposto nos eixos horizontal e vertical para um melhor entendimento:

- O movimento horizontal se dá a partir do planeio, de maneira análoga a aviação, com o uso de asas fixas presentes no exterior do modelo;
- O movimento vertical se dá a partir da variação de flutuabilidade, que ora é positiva, ora é negativa. A variação ocorre por conta da alteração do empuxo ou do peso do veículo. Por conta disso, é possível encontrar modelos que utilizam bexigas expansíveis (variação do volume) ou lastro (variação da massa);

Por conta das características mencionadas acima, o movimento do Glider é lento (em torno de 10 cm/s) e sua trajetória se assemelha a uma curva do tipo dente de serra, como é possível ver na figura abaixo.



Comparando o Glider com os outros tipos de AUVs pode-se destacar como sendo as principais

qualidades deste tipo de AUV:

- Alta eficiência energética;
- Boa autonomia;
- Longo alcance;
- Baixa vibração;
- Baixo ruído para as medições;
- Baixa manutenção;

Esse projeto tem como objetivo central o desenvolvimento de um veículo autônomo de baixo custo do tipo Glider. As principais características do Glider proposto são: uso de asa externa fixa, sem leme, com volume constante e que opera com a variação de flutuabilidade devido a alteração do lastro, enquanto a atitude é alterada a partir da movimentação de massas móveis no interior do casco. Para atingir esse objetivo as principais metas são: formulação matemática da dinâmica do Glider, desenvolvimento do sistema de controle, construção do protótipo e testes em laboratório.

#### **4 – RELEVÂNCIA DO TEMA / JUSTIFICATIVA (no máximo 1 página)**

Os AUV's podem ser empregados em diversos lugares e podem cumprir diferentes funções. Assim sendo é importante se atentar para que a construção do modelo leve em consideração os requisitos necessários para cada aplicação, como por exemplo: tipo de propulsão, geometria do corpo, material de construção, existência ou não de superfícies de controle etc.

Dentro da categoria de veículos autônomos, os Gliders se destacam por serem veículos que não utilizam a variação do empuxo para se deslocarem dentro da coluna d'água. Entre as suas aplicações mais comuns destaca-se o seu uso em pesquisas científicas tais como: o monitoramento da fauna, da flora e coleta de dados físico-químicos. Além disso, existem também aplicações militares tais como o patrulhamento e/ou vigilância de grandes áreas.

Atualmente, com a proximidade do fim da vida útil de várias estruturas submarinas ao redor mundo e o início das atividades de descomissionamento, várias agências reguladoras têm exigido das empresas o monitoramento ambiental de grandes áreas e por longos períodos, para melhor entender e avaliar os impactos das atividades de descomissionamento. Entre os principais desafios para este monitoramento está o custo e a duração para a realização destas atividades. Neste cenário o uso de veículos autônomos do tipo Gliders submarinos se destacam devido a sua capacidade de coletar dados por longo tempo e por permitir monitorar grandes áreas com baixo consumo de energia. Além disso, comparados com outras técnicas que podem realizar este mesmo tipo de operação o custo de construção e operação dos Gliders também é bem menor.

#### **5 – ESTADO DA ARTE E METODOLOGIA (no máximo 3 páginas)**

A necessidade de monitorar grandes áreas dos oceanos e por longos períodos levou a desenvolvimento do conceito de planadores submersíveis, mas conhecidos na literatura como Gliders. A maioria deste tipo de veículo submersível utiliza a variação de empuxo para controlar o seu deslocamento ao longo da coluna de água, ou seja, altera o empuxo relativo para subir ou descer dentro da coluna. Um dos primeiros Gliders a serem desenvolvidos foi em meados dos anos 80.

Os principais exemplos de Gliders comerciais utilizado em estudos oceanográficos são Slocum, Spray e Seaglider. Embora o custo deste tipo de veículo autônomo seja bem menor que os demais tipos existentes no mercado, o valor dos Gliders comerciais ainda é superior a 50.000 dólares. Observa-se o desenvolvimento de alternativas acadêmicas de menor custo, como por exemplo o

ROUGHE, desenvolvido pela universidade de Michigan cuja o custo de material para construção deste é da ordem de 10.000 dólares. Porém a maioria das alternativas de menor custo ainda são proprietárias e não fornecem informações suficientes para a reprodução dos projetos.

Nos últimos anos observa-se o crescimento no número de projetos de código-aberto em diferentes áreas, inclusive no projeto de Gliders submersíveis. O primeiro projeto deste tipo foi desenvolvido por Williams (2018) o qual é um projeto de Glider de baixo custo totalmente aberto e com um custo da ordem de 2% do valor dos comerciais.

O Glider proposto por Williams (2018), consistem num glider de 1.2m de comprimento, que pesa aproximadamente 12kg e possui uma autonomia de aproximadamente 50h e permite o controle dos movimentos de pitch e roll através da variação do centro de massa. Outra característica interessante deste projeto é que utiliza manufatura aditiva para a construção de grande parte das peças necessárias para a construção do Glider, o que reduz o custo e facilita a reprodução. No entanto, algumas especificações não foram incluídas nesse projeto, por exemplo: a profundidade máxima, alcance, autonomia etc. Embora este projeto possa servir como uma plataforma para o desenvolvimento de novas versões do Glider, o projeto não contempla nenhuma análise mais detalhada do funcionamento dos mecanismos de deslocamento ou controle, o que sugere um grande potencial para a otimização dele.

Desde a década de 80 vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos sobre a dinâmica e estabilidade de Gliders que podem ser utilizados para a melhoria dos projetos de código aberto de novos Gliders. Entre estes trabalhos destaca-se a tese de doutorado desenvolvida por Graver em 2005, a qual apresenta um modelo geral para avaliação da dinâmica, controle e projeto de um Gliders.

O modelo proposto por Graver (2005) é bem mais completo e permite a sua adaptação para diferentes tipos de Gliders. Essa formulação conta com as equações de movimento do Glider que estão todas expressas no referencial solidário e dependem não só das características geométricas do veículo como da movimentação das massas internas ao casco do modelo. Essas equações foram obtidas pelo método de Kirchhoff, apresentado por Fossen [7].

Por operar totalmente submerso e ter um volume constante, o centro de carena é fixo. Por isso, o referencial solidário do modelo será adotado com origem nesse ponto. A massa móvel, que fica responsável pela alteração da atitude do veículo será localizada a partir do centro de carena. Na figura 1 é possível visualizar um esquema mostrando a localização das massas de um modelo típico de Glider.

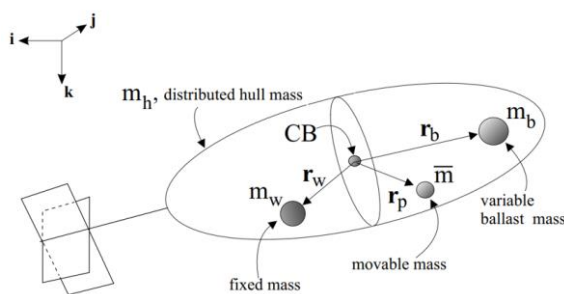


Figura 1 – Localização das massas do glider

Uma vez que o Glider possui uma asa, surgirão forças referentes a sustentação e o arrasto, as quais podem ser avaliadas como sendo:

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D(\alpha) AV^2$$

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L(\alpha) AV^2$$

Sendo  $\rho$  a massa específica da água,  $C_i$  os coeficientes adimensionais,  $A$  a área planar da asa e  $V$  a velocidade absoluta do Glider.

Fan, et al. (2013), também discute vários aspectos sobre o funcionamento do glider, destacando-se o arranjo interno dos equipamentos, sensores, lastros. Além disso, é apresentada uma abordagem para análise da estabilidade estática do glider, bem como a formulação cinemática do mesmo e uma proposta para a estimativa das forças de sustentação e de arrasto baseado na teoria de asas. O sistema de coordenada utilizado no modelo proposto por Fan et al (2013) é semelhante ao mostrado na Fig. 1 e apresentado na Fig. 2. Segundo Fan et al (2013), a velocidade absoluta do Glider é a dada por:

$$V = \sqrt{\frac{2P_L \sin \xi}{\rho S C_D}}$$

Sendo  $P_L$  o peso líquido,  $\xi$  o ângulo de planeio,  $S$  a área planar da asa,  $C_D$  o coeficiente de arrasto e  $\rho$  a massa específica da água.

Como descrito no parágrafo anterior, o centro de carena do Glider está sempre no mesmo lugar, por conta disso, basta que o centro de gravidade esteja abaixo do centro de carena para que a estabilidade transversal seja garantida através de um braço de endireitamento.

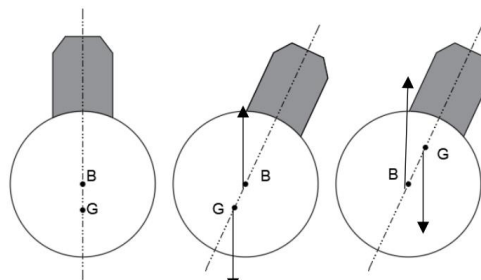


Figura 2 – Braço de endireitamento

Já para a estabilidade longitudinal, basta que, a partir do diagrama de corpo livre, o somatório de forças e de momentos seja igual a zero.

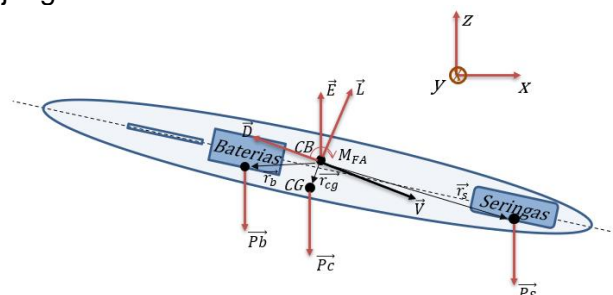


Figura 3 – Diagrama de corpo livre

A formulação proposta por Graver (2005) será analisada e adaptada para representar o modelo de glider a ser desenvolvido, o qual está baseado na plataforma de código aberto proposta por William (2018). O modelo será implementado utilizando linguagem python e permitirá estimar as principais características do glider como trajetória, velocidades etc., as quais serão utilizadas para o desenvolvimento do sistema de controle do Glider.

#### **6 – ETAPAS (no máximo 2 páginas)**

Esse projeto foi dividido em 8 etapas, sendo elas as seguintes:

- 1) Busca e estudo de referências bibliográficas e projetos de Glider já existentes → Escrita de relatórios contendo as formulações e equações de maneira detalhada;
- 2) Modelagem da dinâmica do Glider → Formulação da equação das forças (segunda lei de Newton);
- 3) Avaliação do projeto de Glider selecionado → Realização de um estudo mais aprofundado para um modelo específico de Glider e, caso seja necessário análise de CFD, utilizando o software disponível no LabOceano;
- 4) Construção do modelo selecionado e, caso haja tempo, análise de FEM, utilizando o software disponível no LabOceano;
- 5) Implementação dos sistemas de controle → Formulação do sistema de controle responsável pela mudança de fluabilidade;
- 6) Pré-testes do modelo construído;
- 7) Ensaio do modelo no tanque do LabOceano;
- 8) Redação de relatórios;

#### **7 – CRONOGRAMA DE TRABALHO (no máximo 1 página)**

O período de 2 anos de pesquisa foi dividido em oito trimestres. As etapas foram distribuídas da seguinte maneira:

Etapa 1 – 1º Trimestre até o final do período;

Etapa 2 – 2º Trimestre;

Etapa 3 – 3º Trimestre;

Etapa 4 – 4º Trimestre;

Etapa 5 – 5º Trimestre;

Etapa 6 – 6º e 7º Trimestre;

Etapa 7 – 8º Trimestre;

Etapa 8 – Ocorrerá durante todo o período;

**8 – DISCIPLINAS DA ESPECIALIZAÇÃO (listar as disciplinas complementares obrigatórias para o PRH-ANP que pretende cursar)**

- 1) EEN604 – Tecnologia de Sistemas Oceânicos III;
- 2) EEN589 – Projeto de Sistemas Offshore I;
- 3) EEN633 – Projeto de Sistemas Offshore II;
- 4) EEN661 – Hidrodinâmica de Sistemas Oceânicos I;
- 5) EEN662 – Hidrodinâmica de Sistemas Oceânicos II;
- 6) EEN004 – A Natureza da Engenharia;

**9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] 2005, Joshua Graver, Underwater Glider Dynamics, Control and Design;
- [2] 2013, Shuangshuang Fan, Elements of Underwater Glider Performance and Stability
- [3] 2019, Ícaro Reis, Projeto Preliminar e Otimização da Forma de um Veículo Subaquático Autônomo Propelido por Variação de Empuxo;
- [4] Open-Source Underwater Glider by Alex W. at <https://hackaday.io/project/20458-osug-open-source-underwater-glider>;
- [5] Fluid Mechanics, 4<sup>th</sup> Edition, Frank M. White;
- [6] Principles of Dynamics, Donald T. Greenwood;
- [7] Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control, Thor I. Fossen;
- [8] Mechanics of Marine Vehicles, B.R. Clayton and R.E.D. Bishop;

**10 – OBSERVAÇÕES PERTINENTES (por exemplo recursos financeiros envolvidos etc)**

**Participação em eventos:**

Custos envolvidos na participação de congresso, cursos, workshops, seminários etc. As partes marcadas de amarelos são importadas, e seus custos de importação já foram incluídos.

**Partes do corpo:**

Parte	Quantidade	Preço Unitário	Total
Peças impressas (ABS)	2	R\$70,00	R\$140,00
Tubo de acrílico (Corpo) - 4"-185cm	1	R\$866,00	R\$866,00
Cabo para Umbilical (Flutuabilidade Neutra) – 50m	1 (ver sobre o conector do glider)	\$282.00	\$282 ou R\$1500,00
		TOTAL	R\$1506,00

**PRH-ANP/MCT nº**

**Componentes Mecânicos:**

Parte	Quantidade	Preço Unitário	Total
Giroscópio (MPU6050)	2	R\$18,90	R\$37,80
Driver motor de Passo (A4988)	6	R\$15,90	R\$95,40
Motor de passo (NEMA 17 - 32mm)	2	R\$119,90	R\$239,80
Motor de passo (NEMA 17 - 60mm)	2	R\$250,00	R\$500,00
Batéria de Lítio (18650)	12	R\$14,99	R\$179,88
Suporte para bateria	6	R\$12,90	R\$77,40
Arduíno (ATMEGA 2560)	2	R\$109,90	R\$219,80
Micro lever switch	6	R\$1,50	R\$9,00
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$1359,08</b>

**Componentes Eletrônicos:**

Parte	Quantidade	Preço Unitário	Total
Haste rosqueada (300mmx8mm)	4	R\$105,99	R\$426,96
Encaixa farpa (10mm de diâmetro)	12	R\$2,00	R\$24,00
Guia Linear (1000mmx8mm)	4	R\$40,00	R\$160,00
		<b>Total</b>	<b>R\$610,96</b>

**TOTAL:**

<b>Reais</b>
R\$3476,04

Local Rio de Janeiro	Data 30/09/2020
-------------------------	--------------------