

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS  
CAMPUS ARCOS  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**EDUARDO CAMBRAIA VIGLIONE NASCIMENTO  
GABRIEL VINÍCIUS DE FIGUEIREDO  
HIGO DA SILVA VELOSO  
JULIANA ARAÚJO DOS SANTOS  
PEDRO AUGUSTO VALADÃO**

**TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR:  
Protótipo de submarino não tripulado**

**EDUARDO CAMBRAIA VIGLIONE NASCIMENTO**  
**GABRIEL VINÍCIUS DE FIGUEIREDO**  
**HIGO DA SILVA VELOSO**  
**JULIANA ARAÚJO DOS SANTOS**  
**PEDRO AUGUSTO VALADÃO**

**TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR**  
**Protótipo de submarino não tripulado**

Trabalho apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica, do Instituto Federal de Minas Gerais, como requisito à aprovação parcial de todas as disciplinas referentes ao primeiro período do Curso de Engenharia Mecânica.

**Orientador: Prof. Dr. Niltom Vieira Junior**

Arcos  
2017

## RESUMO

Este projeto fundamenta-se no desenvolvimento de um veículo subaquático operado remotamente denominado ROV; construído a partir de parâmetros baseados na integração das disciplinas estudadas no primeiro período de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais, campus Arcos, e no princípio de Arquimedes. ROVS são robôs submersíveis não tripulados, controlados geralmente via rádio de uma base externa e são empregados principalmente com funções de inspeção, observação e manutenção. Para a construção do submarino foram utilizados matérias e dispositivos de baixo custo. Inicialmente realizou-se uma ampla revisão bibliográfica para se chegar a estes equipamentos. Desenvolveu-se o projeto estrutural optando-se por uma arquitetura simples e de fácil funcionamento. Como resultado experimental, espera-se verificar que seja possível o pleno funcionamento do protótipo baseando-se nos conhecimentos até então adquiridos.

**Palavras-chave:** ROV. Robôs submersíveis não tripulados. Baixo custo. Estrutura.

## **ABSTRACT**

This project is based on the development of a remotely operated underwater vehicle called ROV; Constructed from parameters based on the integration of the disciplines studied in the first period of Mechanical Engineering of the Federal Institute of Minas Gerais, Arcos campus, and in the Archimedes principle. ROVs are unmanned submersible robots, generally controlled by radio from an external base and are mainly employed with inspection, observation and maintenance functions. For the construction of the submarine were used low cost materials and devices. Initially a large bibliographical review was carried out to reach these equipments. The structural design was developed by opting for a simple and easy-to-operate architecture. As an experimental result, it is expected to verify that it is possible to fully operate the prototype based on the knowledge previously acquired.

**Keywords:** ROV. Unmanned submersible robots. Low cost. Structure.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Desenho Técnico representativo do protótipo de ROV feito em AutoCad.....	19
<b>Figura 2</b> - Representação gráfica da circunferência da base cilíndrica do projeto no plano cartesiano utilizando-se o recurso de GeoGebra.....	20
<b>Figura 3</b> - Representação gráfica do cilindro e sua altura no GeoGebra.....	21
<b>Figura 4</b> - Vista demonstrativa da aplicação integrada das disciplinas: Cálculos de Geometria Analítica em software de Computação Aplicada.....	23
<b>Figura 5</b> - Demonstração em 3D do plano de revolução do objeto no Winplot.....	23
<b>Figura 6</b> - Representação da calota esférica.....	24

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Materiais e Custos.....</b>	<b>16</b>
---	-----------

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 - OBJETIVO</b> .....	10
<b>3 - REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
3.1 - ROV e sua estrutura.....	11
3.2 - Hidrodinâmica.....	12
3.3 - Sistemas de vedação.....	12
3.4 - Sistemas de comunicação.....	13
3.5 - Sistemas de energização.....	13
3.6 - Motores.....	13
3.7 - Movimentação.....	14
<b>4 - METODOLOGIA</b> .....	15
4.1 - Materiais e métodos.....	15
4.1.1 - <i>Material Utilizado</i> .....	16
4.1.2 - <i>Aquisição de material e motivação para aquisição</i> .....	18
4.1.3 - <i>Desenho técnico</i> .....	19
4.1.4 - <i>Planejamento da estrutura física</i> .....	20
<b>5 - RESULTADOS E CONCLUSÕES</b> .....	27
<b>6 - BIBLIOGRAFIA</b> .....	28

## 1 - INTRODUÇÃO

Os veículos subaquáticos não tripulados, que é o fundamento deste trabalho, Chamado de ROV, do inglês “*remote operated underwater vehicle*” é, sobretudo, um robô que funciona embaixo d’água e pode ser operado à distância e de um ambiente adequado e seguro (MARINE TECHNOLOGY SOCIETY, 2014). São operados remotamente e demandam de constante controle e supervisão, sendo essencial para seu funcionamento e operação a comunicação ininterrupta entre o veículo e a base (CHRIST; WERNLI, 2014). Já o AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*) a título de definição e curiosidade opera em modo autônomo, isto é, operam sem a necessidade de serem controlados por uma pessoa, e muitas vezes não necessitam de recarga em suas baterias, uma vez que vão até a superfície para recarregar as mesmas através de painéis solares (JIMENEZ, 2004).

Segundo Benitti et. al. (2009) a aplicação da robótica faz com que possíveis problemas sejam solucionados através da lógica, de maneira eficaz com conceitos ligados a matemática, mecânica e física. Pesquisas na área de robótica subaquática têm sido desenvolvidas nas últimas décadas em todo mundo. Estes equipamentos compreendem uma série de veículos, que vai dos mais simples submergíveis aos mais complexos (HOVER, 2002; YUH, 1995). No Brasil alguns trabalhos sobre o desenvolvimento de ROV aquático de baixo custo têm sido apresentados. Barros e Soares (2002) exibiram uma proposta de um veículo híbrido de baixo custo que pode operar como ROV (*Remotely Operated Vehicle*) ou AUV.

ROVs são veículos empregados principalmente com funções de inspeção, observação e manutenção (JIMENEZ, 2004; KIM et. al., 1999). As dimensões continentais do Brasil dificultam o monitoramento e a fiscalização das áreas de preservação permanentes, como as matas ciliares, e o impedimento do avanço de destruição das mesmas, além de facilitar as ações humanas na pesca ilegal. Para Sperling (1993) os meios aquáticos são utilizados em todo o mundo com as mais variáveis finalidades, dentre as quais se destacam a navegação; nesse sentido, à utilização de veículos subaquáticos não tripulados são de grande importância como ferramentas de observação e armazenamento de dados através de tecnologias embarcadas, auxiliando na conservação desses ambientes.

Ao projetar um ROV, é imprescindível que se analise diversas variantes, desde a estrutura física à propulsão que será utilizada, o desenho do protótipo, modo de submergir e emergir, a carga extra suportada, o deslocamento do veículo subaquático, material de baixo custo a ser empregado na construção do submarino não tripulado, dentre outros, como demonstram Barros e Soares (2002) em seu trabalho intitulado: Desenvolvimento de um Robô



Submarino de Baixo Custo. Assim, o questionamento que se faz em relação a este projeto é: Será possível a construção, o efetivo funcionamento e a aplicação da função deste submarino não tripulado de baixo custo, empregando conhecimentos específicos até agora adquiridos? Desta maneira o presente trabalho justifica-se no intuito de constatar através da demonstração experimental a eficácia da integração das ciências estudadas na realização do protótipo subaquático não tripulado.

## **2 - OBJETIVO**

Demonstrar o desenvolvimento de um veículo submarino não tripulado, ROV, de baixo custo, utilizando conceitos estudados até agora no curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais: são eles, Geometria Analítica, Computação Aplicada, Calculo I, Desenho Técnico; além da experimentação da Literatura existente, para a construção desse submersível, integrando-o a função social de vigilância do meio ambiente e combate à pesca ilegal de acordo com os preceitos de CTS (Ciências, Tecnologia e Sociedade).

### 3 - REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Jimenez (2004), a classificação dos veículos submersíveis pode ser dividida em duas classes: Veículos submersíveis tripulados militares e de pesquisa; veículos submersíveis não tripulados rebocados ou operados remotamente como o ROV e o semiautônomo UUV (*untethered underwater vehicle*) ou ainda os veículos autônomos AUV.

Para iniciar o desenvolvimento do ROV, objeto desse estudo, foi necessário analisar uma série de fatores ligados diretamente a construção do protótipo e o meio em que o mesmo estaria inserido. Para isso foi de substancial importância compreender os fundamentos teóricos de cada parte envolvida no projeto, embasados no estudo bibliográfico conciso e objetivo. Porém são poucos os recursos bibliográficos disponíveis em português sobre a robótica subaquática. Dentre os poucos materiais disponíveis sobre o tema, destaca-se o de Barros e Soares (2002), que aborda o desenvolvimento de um veículo híbrido que pode operar tanto como ROV quanto em modo autônomo AUV, e Moraes (2005) que demonstra a construção de um submarino não tripulado de baixo custo.

#### 3.1 - ROV E SUA ESTRUTURA

De acordo com a Marine Technology Society of USA (1984), os primeiros ROVs foram desenvolvidos pela empresa *Luppis - Whitehead Automobile* e por Dimitri Rebikoff. Desde então inúmeros ROV foram construídos para as mais diversas funções, dentre as quais a inspeção e vistoria de estruturas submersas como as plataformas de exploração de petróleo (JIMENEZ, 2004; KIM et. al., 1999). De acordo com Yuh (1995) e Hover (2002) existem vários tipos de submarinos não tripulados dos mais simples aos mais complexos no mercado internacional. No entanto os ROV disponíveis no mercado possuem um custo elevadíssimo para locação ou importação, tornando seu uso improvável em atividades cotidianas (CHRIST; WERNLI, 2014).

No Brasil, segundo Moraes (2005), existem diversas maneiras de se construir a estrutura de um ROV, usando materiais de fácil acesso e custos acessíveis, dentre os quais se destacam: as cerâmicas, o alumínio, o titânio e a fibra de carbono para equipamentos subaquáticos comerciais e de pesquisa; já para fins acadêmicos são utilizados para o desenvolvimento de projetos de submarinos não tripulados materiais como o PVC, plástico e/ou acrílico, por serem materiais leves, de baixo custo, resistentes à pressão e temperaturas as quais serão submetidos no meio inserido.

Para Christ e Wernli (2014) esses equipamentos subaquáticos podem ser desenvolvidos em vários formatos físicos, de acordo com o desempenho de estabilidade do ROV quando submerso, da funcionalidade a qual se pretende utilizar e o tipo de deslocamento que mais será utilizado, podendo assim ser encontrados nas formas triangulares, retangulares, quadrados, cilíndricos ou trapézios.

### 3.2 - HIDRODINÂMICA

Segundo Arquimedes citado por Assis (1996) em sua tradução comentada sobre corpos flutuantes, todo e qualquer corpo mergulhado num meio fluído, quando em repouso, sofre duas forças na vertical: uma força, por parte do meio fluído, na vertical para cima chamada de empuxo, cuja intensidade da força é igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo; e uma força peso na vertical para baixo, que é proporcional à massa do corpo.

Dessa forma, todo corpo em repouso em um meio fluido tendem a manter-se em repouso, independente da profundidade em que esteja, exceto se submetido a uma força externa, de acordo com Isaac Newton citado por Cohen e Witman (1999), que altere a estrutura do corpo de maneira a variar sua massa ou volume, portanto alterando a sua densidade, e com isso a intensidade dessas forças em modulo, fazendo com que a força resultante aponte na vertical para baixo caso a força peso seja maior que a força empuxo, fazendo com que o corpo afunde; de modo análogo caso a força peso seja menor que a força empuxo, a força resultante irá apontar na vertical para cima, fazendo com que o corpo flutue.

Assim o movimento de submergir e emergir de um ROV ou seu repouso atendem aos princípios de Arquimedes e Isaac Newton respectivamente, e segundo Christ e Wernli (2014), o movimento do equipamento subaquático são feitos de duas formas: através de propulsores que geram uma força externa ao ROV; através de um ROV com densidade variável (tanques de lastro), pois alterando a densidade alteramos a relação de forças peso e empuxo, obtendo uma força resultante na vertical, que aponte para baixo ou para cima, reciprocamente.

### 3.3 - SISTEMAS DE VEDAÇÃO

Em projetos acadêmicos, nas profundidades a qual os ROV são submetidos à pressão exercida sobre o equipamento subaquático não é um fator relevante para ocorrência de estouro da vedação, já em ROV comerciais, para vedar os componentes eletrônicos devem ser feitos

cálculos precisos, em função da profundidade que estes equipamentos irão atuar, levando em consideração a pressão e temperatura sobre estes submersíveis (CHRIST; WERNLI, 2014).

### 3.4 - SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

O sistema de comunicação pode ser do tipo serial, o qual se emite a informação por um meio único, um bit de cada vez, e é utilizada quando o espaço ocupado pelo cabo é crítico ou em ambientes com muito ruído (TEC DATAWIRE, 2014).

Já a comunicação por rádio frequência, é das mais utilizadas para comunicação sem fio, e consiste na emissão de ondas eletromagnéticas senoidais na faixa de alta frequência entre 3kHz e 300GHz e as vantagens de se trabalhar com alta frequência é a maior quantidade de dados a ser transmitida, menor quantidade de ruídos externos no sinal e longas distâncias de comunicação (INSTRUMENTS NATIONAL CORPORATION, SD, 2014.). O tamanho da antena também é uma vantagem a ser mencionada, já que este é proporcional ao comprimento da onda e segundo a equação  $v = \lambda * f$  o comprimento de onda é inversamente proporcional a frequência, necessitando assim de tamanhos menores de antena para frequências mais elevadas (CASSIDY; HOLTON; RUTHERFORD, 2002).

### 3.5 - SISTEMAS DE ENERGIZAÇÃO

Segundo Christ e Wernli (2014) para se definir o sistema de energização à ser utilizado, devem ser levados em conta: o uso de corrente alternada (CA) ou contínua (CC); fonte de energia *onboard* (dentro do ROV) ou *offboard* (conectada via *tether*), de acordo com o tamanho e a finalidade à qual o veículo submersível será submetido, sendo que as baterias mais utilizadas são as chumbo-ácida e as de polímero de lítio.

### 3.6 - MOTORES

Para Oliveira, L. C. (2014), motores elétricos são equipamentos capazes de transformar energia elétrica em mecânica, e possuem duas peças principais: o estator, que é um conjunto de elementos fixados à carcaça da máquina, e o rotor cujos elementos são fixados no eixo da máquina. Ainda segundo Oliveira, L. C. (2014), os motores elétricos podem ser alimentados com corrente elétrica contínua, de maneira que esses motores utilizam o próprio movimento para alterar a interação entre o campo magnético do rotor e do estator, enquanto que os motores

de corrente alternada alteram estes campos magnéticos graças à própria alteração na corrente de alimentação.

### 3.7 - MOVIMENTAÇÃO

Submarinos tripulados ou não possuem mobilidade em todo o espaço tridimensional, assim para definir a movimentação vertical no eixo Z são utilizados os métodos de controle de flutuação, enquanto que para a movimentação horizontal no plano XY são usados motores e/ou bombas para a propulsão (ASSIS, 1996; OLIVEIRA, 2014).

## 4 - METODOLOGIA

### 4.1 - MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do ROV se deu no período de março a junho de 2017, no Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Arcos, (IFMG-ARCOS). A ideia de construção do ROV surgiu a partir da motivação que o TAI (trabalho acadêmico integrador) proporciona aos alunos do curso de Engenharia Mecânica do IFMG-Arcos.

As discussões teóricas a serem aplicadas no desenvolvimento do veículo subaquático, foram realizadas entre os membros do grupo, através de encontros no campus, e através das redes sociais, principalmente o WhatsApp. Os textos produzidos foram compartilhados entre os integrantes da equipe, objetivando uma participação de todos no que diz respeito à parte escrita do projeto. Durante a revisão bibliográfica, percebeu-se que material disponível com foco no desenvolvimento do ROV era escasso, principalmente em língua portuguesa, assim as fases iniciais de idealização do projeto ficaram no campus do empirismo, voltando-se principalmente para a aquisição dos materiais necessários para a construção do Protótipo.

Antes da montagem do Protótipo, o mesmo, foi desenvolvido seguindo as seguintes etapas: levantamento de material a ser utilizado; aquisição do material a ser utilizado e motivação para aquisição dos mesmos dentre eles o motor, bateria e circuito eletrônico para acionamento do ROV; desenho do projeto/planejamento da estrutura física; e programação de sistema embarcado.

## 4.1.1 - MATERIAL UTILIZADO

Na tabela 1, são descritos os materiais e dispositivos utilizados para o desenvolvimento do protótipo e suas quantidades bem como os locais de compra dos produtos e os custos finais de aquisição dos mesmos observando o baixo custo do projeto em relação à ROVs comerciais.

Tabela 1 – Materiais e Custos.

Quantidade	Descrição	Local de aquisição	Custo final em R\$
1 unidade	Motor Brushless a prova d'água.	Site Mercado Livre.	135,00
1 unidade	Circuito eletrônico Esc 50A Hk para Motor Brushless aeromodelo elétrico.	Eletrônica Popular.	150,00
2 unidades	Servos Motores.	Site Mercado Livre.	40,00
1 unidade	<i>High Discharge LI-PO Battery.</i>	Eletrônica Popular.	100,00
1 unidade	Controle remoto modelo FHSS.	Site Mercado Livre.	220,00
1 unidade	Spinner Adaptador para hélice.	Site Mercado Livre.	20,00
1 unidade	Cano PVC medindo 300 mm de comprimento, 150 mm de diâmetro e 75 mm de raio.	Materiais para construção Construai.	40,00
2 unidades	Tampas de cano PVC com medidas de 60 mm de altura, 156 mm de diâmetro e 78 mm de raio; custo zero.	Materiais para construção Construai.	Sem custo.
2 unidades	Silicone Acético Antifungo e Mofo, POLY STIC.	Casas Fontes materiais para construções.	12,00



1 unidade	Adesivo plástico para conexões e tubos de PVC rígido, PLASTUBOS tubos e conexões.	Casas Fontes materiais para construções.	4,00
6 unidades	Lemes de PVC	_____	Sem custo.
1 unidade	Rolo de fio metálico	Casas Fontes materiais para construções.	10,00
1 unidade	Tinta Spray Amarela	Casas Fontes materiais para construções.	12,00
4 unidades	Dobradiças de 25 mm de comprimento por 20 mm de largura	Casas Fontes materiais para construções.	4,00
16 unidades	Parafusos	Casas Fontes materiais para construções.	Sem custo.
1 unidade	Fibra de Vidro	Casas Fontes materiais para construções.	15,00
1 unidade	Fita isolante	_____	Sem custo.
1 unidade	Hélice	Cooler.	Sem custo.
			Total em R\$ 762,00

Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.2 - AQUISIÇÃO DE MATERIAL E MOTIVAÇÃO PARA AQUISIÇÃO

A aquisição do material se deu principalmente através de sites de compra e lojas da região de Arcos em Minas Gerais, sendo que a motivação para o tipo de equipamentos a serem adquiridos ocorreram de forma aleatória, de acordo com o que se ia pensando no desenvolvimento do projeto, no entanto sempre analisando o custo/benefício dos dispositivos.

Inicialmente pensou-se na utilização de um motor simples, porém a falta de conhecimento sobre vedação nos alertou para dificuldades que poderíamos encontrar até mesmo a possibilidade de se perder todo o projeto; deste modo todos concordaram que fosse comprado um motor mais resistente, a prova d'água.

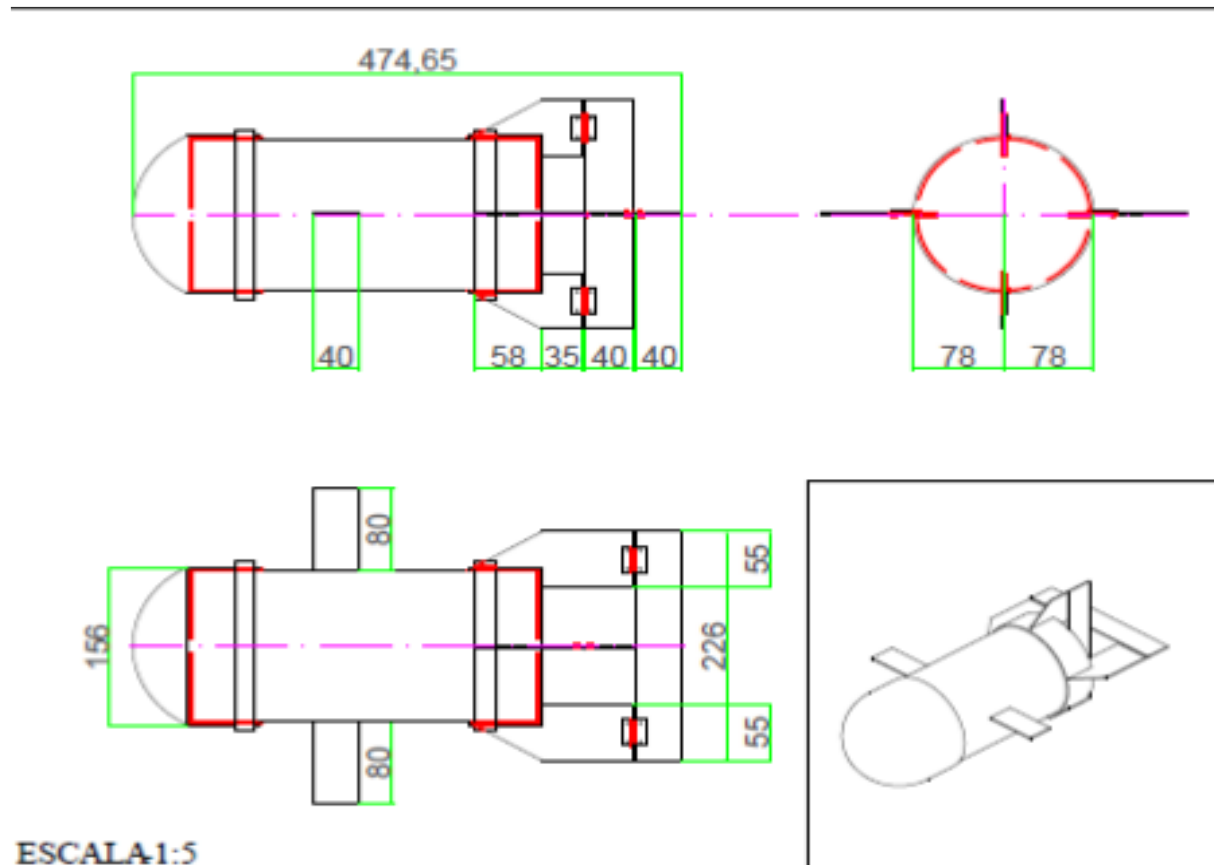
Assim, foi escolhido o motor Brushless que possui esse requisito, com uma potência equivalente a 4370 KV, sendo ( $K=RPM$ ), ou seja, 52440 RPM (Rotações Por Minuto). Como sistema de alimentação de energia para o funcionamento do motor escolhido, por questão de fácil manuseio, fora utilizado uma bateria de Nobreak que possui carga de 12 volts e corrente contínua.

O circuito eletrônico utilizado para o funcionamento tanto do motor, quanto dos servos motores foi o ESC 30 A, o qual possui cinco fios. Três destes fios ficam de um lado do circuito e são denominados W, V e U, se conectando diretamente no motor, enquanto outros dois fios que ficam do outro lado deste circuito conectam-se diretamente a bateria com uma carga positiva e outra negativa, e por final será conectado ao seu receptor os servos motores e o receptor do controle remoto.

O submarino será controlado por meio de controle remoto via rádio do tipo FHSS, estabelecendo total controle do mesmo de forma não tripulada e segura, movimentando-o de forma livre para todos os lados.

#### 4.1.3 - DESENHO TÉCNICO

O desenho do projeto foi desenvolvido em ambiente denominado AUTOCAD em três vistas no primeiro diédrio como mostrado nas figuras abaixo:





	PROJETO: SUBMARINO_NAO_TRIPLADO			
	DISCIPLINA: VISTAS_PRINCIPAIS			
	PP FABRICANTE: NA	PROJETADO POR: GRUPO_8	FOLHA: 1 DE 1	
	PP ELABOR: NA	VERIFICADO POR: GRUPO_8	UNIDADE DE MEDIDA: MM	
	DATA: 25/06/2017	APROVADO POR:	FORMATO: A4	

Figura 1- Desenho Técnico representativo do protótipo de ROV feito em AutoCad.

Fonte: autoria própria.

#### 4.1.4 - PLANEJAMENTO DA ESTRUTURA FISICA

A estrutura física do projeto foi planejada baseando-se no princípio de Arquimedes e disciplinas de Geometria Analítica, Computação Aplicada, Calculo I e Desenho Técnico, estudadas no curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais, campus Arcos.

Partindo-se inicialmente da ideia que a estrutura do ROV terá que flutuar na água, e sabendo-se que a densidade da água é igual a  $1 \text{ g/cm}^3$ , tem-se que obter três parâmetros: densidade do objeto em questão, o volume e a massa do mesmo.

Inicialmente foi preciso calcular o volume da parte cilíndrica do cano de PVC de 15 cm, que será a estrutura alicerce do projeto; para isso calcula-se a área da base como demonstrado na figura a seguir:

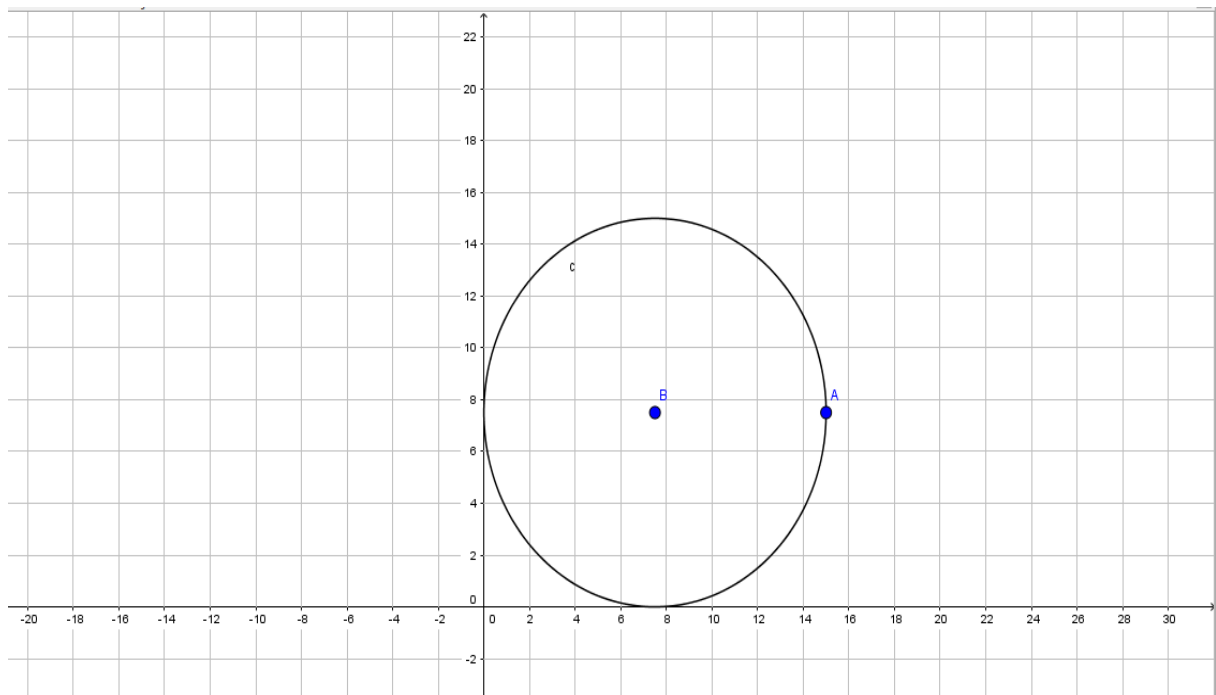


Figura 2- Representação gráfica da circunferência da base cilíndrica do projeto no plano cartesiano utilizando-se o recurso de GeoGebra.

Fonte: autoria própria.

Sendo a área da base uma circunferência, e o ponto B o centro da circunferência com coordenadas  $(a, b)$  no plano cartesiano, como ilustrado no gráfico da figura 2 criado no *software* GeoGebra,  $B(7.5, 7.5)$  e raio  $r = 7.5 \text{ cm}$ , e utilizando-se a equação da circunferência  $(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$  chega-se ao resultado da equação  $(x - 7.5)^2 + (y - 7.5)^2 = 56.25$ . Com base nessa equação pode-se achar qualquer outro ponto da circunferência.

Sendo o ponto A de coordenadas (x, y) pertencente à circunferência e utilizando-se este ponto de acordo com as coordenadas do gráfico da figura 2,  $A(15,7.5)$ , tem-se um vetor  $AB = B - A = (7.5,7.5) - (15,7.5)$ ,  $AB = (-7.5,0)$ .

Aplicando o modulo do vetor AB, chega-se ao resultado abaixo:

$$|AB| = \sqrt{(-7.5)^2 + 0^2}$$

$$|AB| = \sqrt{56.25}$$

$$|AB| = 7.5 \text{ cm}$$

O resultado do modulo AB, é exatamente o raio da circunferência. Com essa medida acharemos a área da base que é escrita da seguinte maneira:  $A_b = \pi \cdot r^2$

$$A_b = \pi \times 7.5^2$$

$$A_b = \pi \times 56.25$$

$$A_b = 176.71 \text{ cm}^2$$

Assim calcula-se a área da base. Com esse cálculo finalizado pode-se então achar ao volume do cilindro. No entanto para encontrar o volume necessita-se encontrar a altura como ilustrado na figura 3 realizada no GeoGebra.

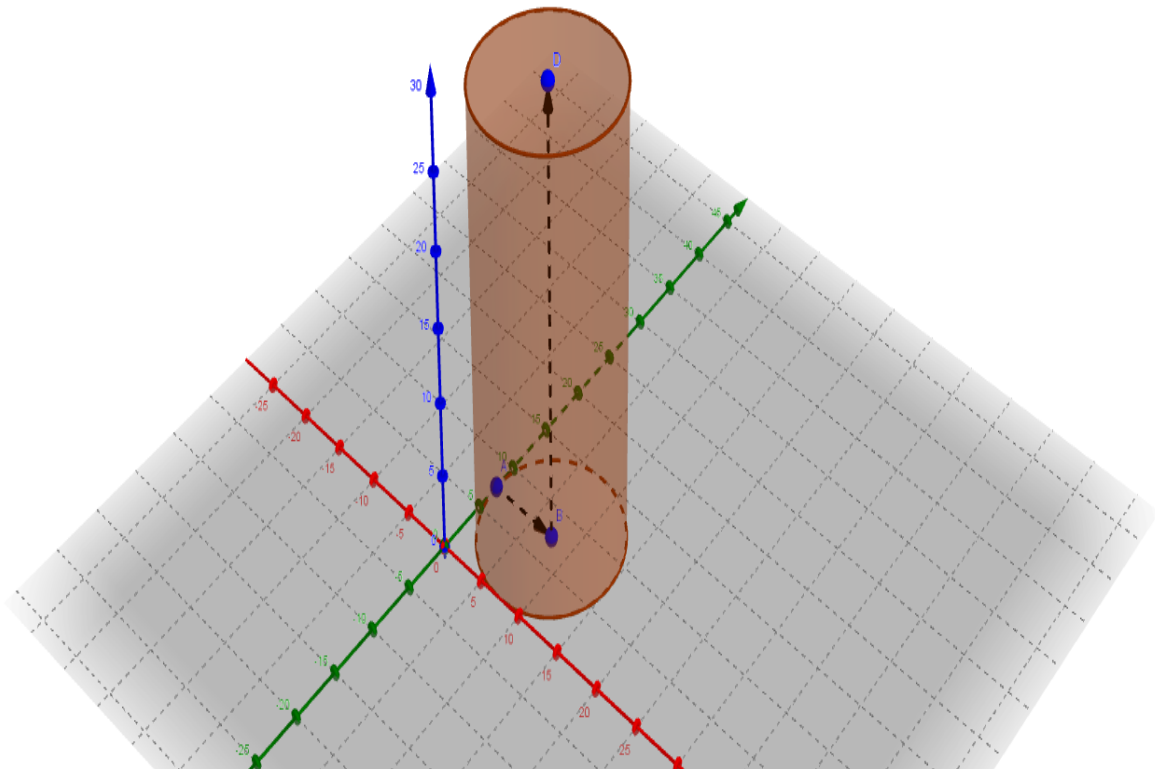


Figura 3- Representação gráfica do cilindro e sua altura no GeoGebra.

Fonte: autoria própria.

Para achar a altura  $h$  necessita-se fazer um novo vetor e para isso adiciona-se um novo ponto, chamado de D, de coordenadas  $D(7.5,7.5,30)$ . Assim o cálculo do vetor fica:

$$BD = D - B = (7.5,7.5,30) - (7.5,7.5,0)$$

$$BD = (0,0,30)$$

$$|BD| = \sqrt{0^2 + 0^2 + 30^2}$$

$$|BD| = \sqrt{900}$$

$$|BD| = 30\text{cm} = h$$

Calculando o módulo  $BD$  chega-se então ao valor da altura. Dessa maneira pode-se então calcular o volume do cilindro utilizando-se a fórmula a seguir:

$$V_{\text{cil}} = A_b \times h$$

$$V_{\text{cil}} = 176,71 \times 30$$

$$V_{\text{cil}} = 5301,3 \text{ cm}^3$$

De forma integrada para se chegar aos cálculos até então demonstrados, para encontrar o volume do cilindro que é o corpo do ROV, foram utilizados os recursos no Matlab, que são plataformas de programação de cálculos, assim descritos:

**% Cálculos de Geometria analítica**

A=[15 7.5];

B=[7.5 7.5];

AB=B-A;

**% Módulo do vetor AB**

u = norm (AB);

AREAB = pi\*u^2;

**% Área da base do cilindro**

**% Terceiro ponto "D" usado para determina a altura**

**% E também o cálculo do volume**

D = [7.5 7.5 30];

BD = D-B;

w=norm(BD);

V=AREAB\*w;

fprintf ('o cilindro terá a área da base de %3.2f centímetros quadrados.\n e um volume %3.2f centímetros cúbicos.\n', AREAB, V)

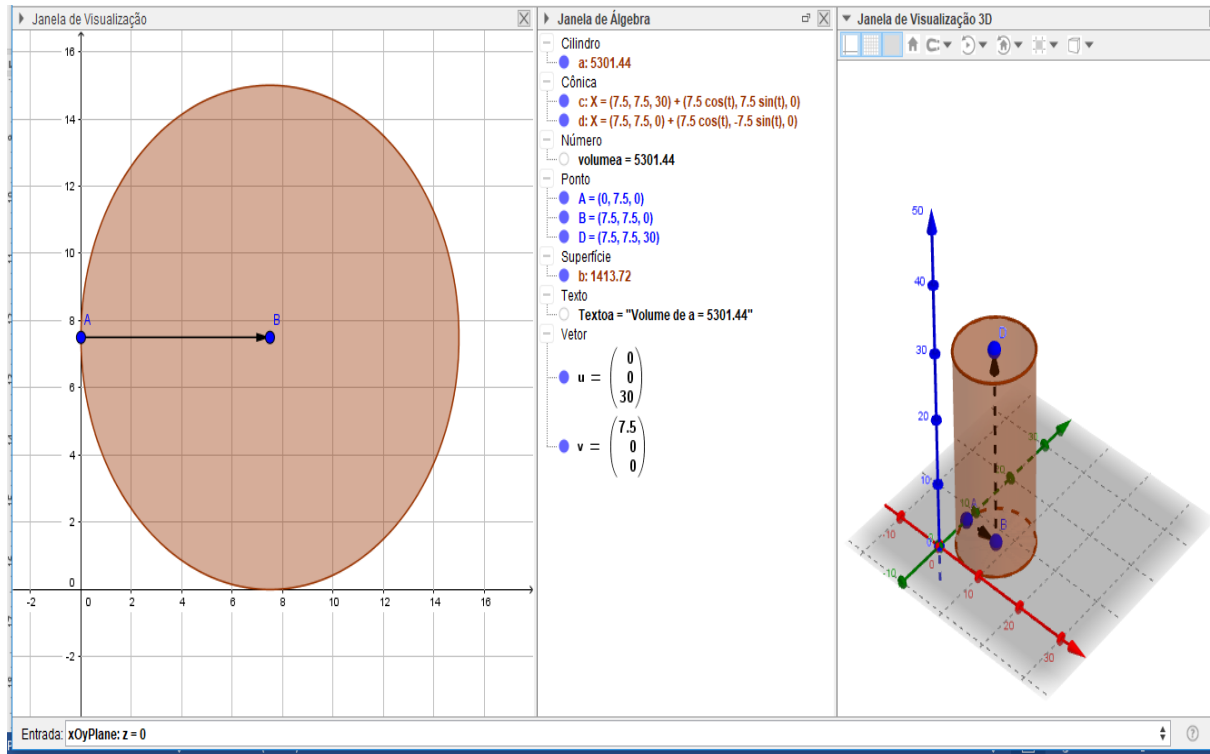


Figura 4- Vista demonstrativa da aplicação integrada das disciplinas: Cálculos de Geometria Analítica em software de Computação Aplicada.

Fonte: autoria própria

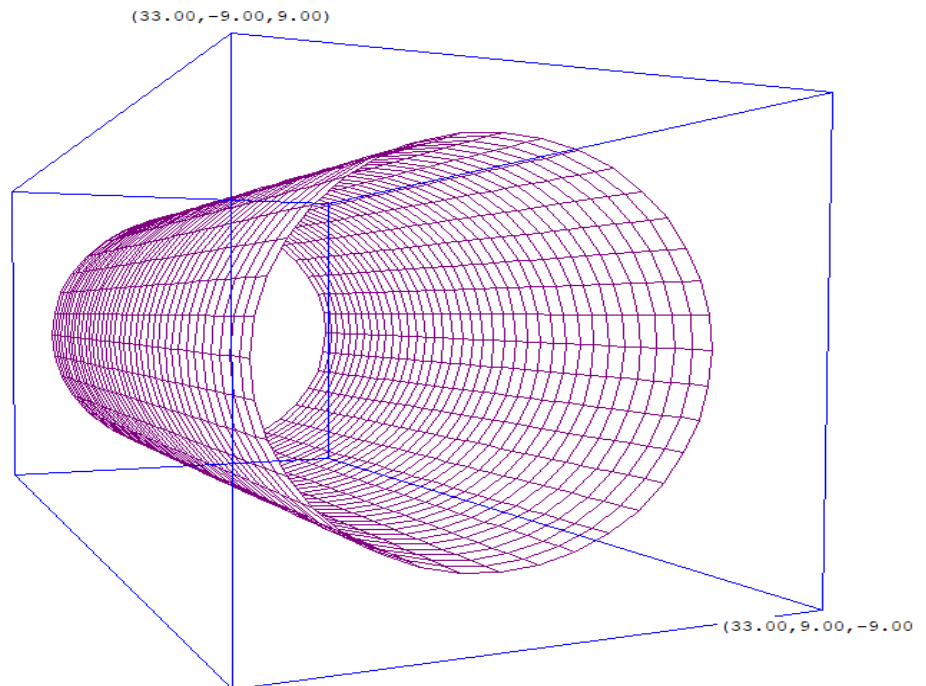


Figura 5- Demonstração em 3D do plano de revolução do objeto no Winplot.

Fonte: autoria própria

Após o cálculo do volume do cilindro foi necessário calcular o volume da calota esférica, com o objetivo de se obter o volume total do protótipo de acordo com os cálculos realizados a seguir no MATLAB.

% Calculando o volume da calota esférica do submarino

R=8.765; % Raio da esfera

h=4.765; % Altura da calota esférica

Vc=1/3\*pi\*h^2\*(3\*R-h); % formula do volume

fprintf('O volume da calota esférica é = %3.4f centímetros cúbicos \n',Vc)

A seguir a figura 6 demonstra o desenho técnico realizado em AutoCad da calota esférica mais uma vez integrando as disciplinas.

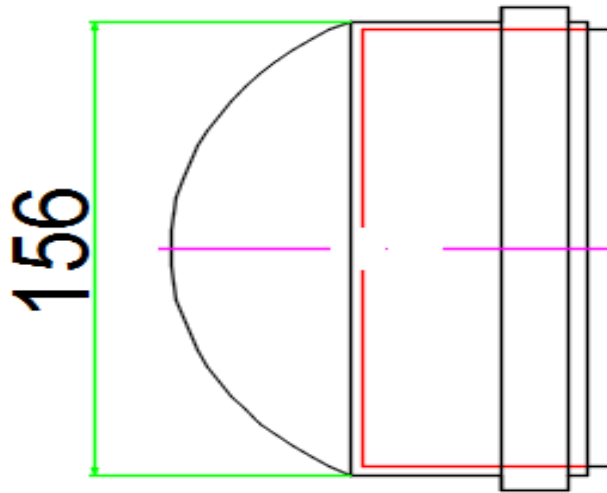


Figura 6- Representação da calota esférica

Fonte: autoria própria

Somando-se o volume do cilindro com os volumes da calota esférica que representa a parte frontal do submarino chega-se ao volume total do objeto em estudo;  $V=5813,35 \text{ cm}^3$ .

Para o cálculo da densidade precisa-se chegar ao valor da massa do objeto em questão, no entanto, sabe-se que a densidade da água é igual a  $1 \text{ g/cm}^3$ , assim para a flutuação e estabilidade do ROV, estimando-se um valor igual a  $0,9 \text{ g/cm}^3$  para a densidade do protótipo.

Dessa forma calcula-se o valor da massa necessária para que o ROV possa flutuar:

$$m = 0,9 \times 5813,35$$

$$m = 5232,015\text{g}$$

$$m = \frac{5232,015}{1000}$$



$$m = 5,2\text{kg}$$

Além desses cálculos até aqui delineados é necessário calcular o volume da caixa construída com tábua de compensado para a fixação dos dispositivos integrantes da parte propulsora do robô subaquático. Esses cálculos se fizeram imperativos uma vez que a caixa com seus equipamentos não poderia ultrapassar os limites do formato cilíndrico do compartimento onde serão fixados.

Inicialmente estabeleceu-se as medidas de corte da tábua de compensado, 0,15 metros para a largura e 0,3 metros para seu comprimento, baseando-se no eixo do centro do cilindro. Com as medidas de corte definidas, fora calculado o volume da caixa, abaixo descrito:

$$V = x(0,15 - 2x)(0,3 - 2x)$$

Simplificando tal equação tem-se:

$$V = x(0,045 - 0,3x - 0,6x + 4x^2)$$

$$V = 4x^3 - 0,9x^2 + 0,045x$$

$$V = 4(x^3 - 0,225x^2 + 0,01125x)$$

Integrando-se as disciplinas, a próxima etapa define-se em derivar a equação do volume encontrada, o que se faz necessário para encontrar o volume máximo permitido para o perfeito encaixe dos equipamentos fixados:

$$V' = 4(3x^2 - 0,45x + 0,01125)$$

Assim forma-se uma equação de segundo grau.

Aplicando-se a fórmula de Bhaskara, encontra-se o valor de delta:

$$\Delta = (b)^2 - 4ac$$

$$\Delta = (-0,45)^2 - 4(3)(0,01125)$$

$$\Delta = 0,0675 - 0,135$$

$$\Delta = 0,0675$$

Desta forma, obtém as raízes:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$$

$$x = \frac{-(-0,45) \pm \sqrt{0,0675}}{2(3)}$$

Tem-se então, as seguintes raízes:

$$x_1 = \frac{0,45 - 0,2598}{6} = 0,0317$$

$$x_2 = \frac{0,45 + 0,2598}{6} = 0,1183$$

Como  $x$  representa um comprimento como restrição não pode ser negativo, porém as raízes encontradas foram positivas, assim liberadas da restrição durante a análise. A largura da tábua é de 0,15 metros, assim não podemos cortar quadrados com lados maiores do que 0,075 metros de largura.

Desta forma, a variável  $x$  deve satisfazer:

$$0 \leq x \leq 0,075, [0; 0,075]$$

Nota-se que  $x = 0,1183$  não pode ser usada, pois está fora do intervalo estabelecido; conclui-se, assim que o maior volume se tem com os pontos de máximo  $x=0,0317$ .

Certificando-se de que o ponto máximo encontrado seja de  $x=0,0317$ , deve-se substituir as incógnitas da função por estes valores,  $x=0$ ;  $x=0,0317$ ;  $x=0,075$ :

$$V = 0[0,15 - 2(0)][0,3 - 2(0)] = 0$$

$$V = 0,0317[0,15 - 2(0,0317)][0,3 - 2(0,0317)] = 0,0006495191$$

$$V = 0,075[0,15 - 2(0,075)][0,3 - 2(0,075)] = 0$$

O maior valor absoluto é 0,0317, portanto  $x = 0,0317$  é o maior tamanho dos quadrados.

## **5 - RESULTADOS E CONCLUSÕES**

Como resultados preliminares observou-se que o desenvolvimento da estrutura do protótipo é possível a partir dos conhecimentos técnicos adquiridos através da integração das disciplinas estudadas. No entanto, durante a montagem da estrutura física do ROV e funcionamento dos dispositivos, como motor, servo-motores, ESC, entre outros, notaram-se erros como a perda dos ESCs 30 A por serem incompatíveis com a potência do motor adquirido, assim como a perda dos lemes por erros na modelagem. Como consequência foi necessário procurar pessoas devidamente habilitadas para a orientação de quais equipamentos seria necessário adquirir para o efetivo funcionamento dos dispositivos sem perdas. Isto deixou claro que a capacitação para o desenvolvimento de projetos como o robô subaquático não tripulado requer uma série de conhecimentos além dos estudados no primeiro período de Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de Minas Gerais, assim como, uma orientação mais ampla e concisa.

## 6 – BIBLIOGRAFIA

AMOS, G. **Matlab com aplicações em engenharia**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 362 p.

ASSIS, A. K. T. Sobre os corpos flutuantes - tradução comentada de um texto de Arquimedes. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**. São Paulo, v. 16, p. 69-80, jul. – dez. 1996.

BARROS, E. A.; SOARES, F. J. A. Desenvolvimento de um Robô Submarino de Baixo Custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, XIV, 2002, Natal-RN. **Anais...** Natal-RN: Sociedade Brasileira de Automática, 2002. p. 2121-2126.

BENITTI, F. B. V. et al. Experimentação com Robótica Educativa no Ensino Médio: ambiente, atividades e resultados. In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA, XV, 2009, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. **Anais...** Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul: Comissão Especial de Informática na Educação. 2009.

CASSIDY, D. C.; HOLTON, G.; RUTHERFORD, F. J. **Compreensão da Física**. New York: Springer New York, 2002. 851 p.

COHEN, I. Bernard; WHITMAN, Anne (Org). **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**: uma nova tradução. Berkeley: University of California Press, 1999.

CHRIST, R. D.; WERNLI, R. L. **The ROV Manual**: A User Guide for Remotely Operated Vehicles. 2 ed. Oxford: Elsevier, 2014. 712 p.

HOVER, F. Autonomous underwater vehicles (AUV). In. DRAFT OF MANEUVERING COMMITTEE, INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE, 23rd., 2002, Venice, Italy. **Anais...** Venice, Italy: International Towing Tank Conference, 2002. V. 1.

KIM, T.W. et. al. Task Description Language for Underwater Robots. In IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS, 99, 1999, Kyongju, Korea. **Anais...** Kyongju, Korea: IEEE International Conference Workshop On, 1999. V. 1, p. 565-570.

LEITHOLD, L. **O cálculo com geometria analítica**. 3. ed. v.1. São Paulo: Harbra, 1994. p. 677-685.

MARINE TECHNOLOGY SOCIETY. *Remotely Operated Vehicle Committee of the Marine Technology Society*. 2014. Disponível em: <<http://www.marinetech.org/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

MORAES, C. E. **Projeto e construção de um veículo subaquático não tripulado de baixo custo**. Rio Grande, 2005. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica), Fundação Universidade Federal de Rio Grande.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. *Relatório de divulgação especializado*. 2014. Disponível em: <<http://www.ni.com/pt-br.html>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

OLIVEIRA, L. C. *Motores Elétricos CA*. 2014. Disponível em: <<http://www.paginapessoal.utfpr.edu.br/oliveira/MotoresCA.pdf/view>>. Acesso em 26 abr. 2017.

JIMENEZ, T. S. **Contribuição para a coordenação da frota autônoma de um veículo subaquático**. 2004. Tese (PHD em Ciências da Computação) – Universidade Montpellier II.

SILVA, A. **Desenho técnico moderno**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. 475 p.

SPERLING, E.V. **Considerações sobre a saúde de ambientes aquáticos**. Bio 1993; 2:53-6

STEWART, J. **Cálculo**. 7. ed. v.1. São Paulo: Pioneira Thomson, 2013. 660 p.

TEC DATAWIRE. *Cat5 Spec, cat6 specs, cat7 spec - Definitions, Comparison, Specifications*. 2014. Disponível em: <<http://www.tecdatawire.com/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

YUH, J. **Underwater robotic vehicles, design and control**. Albuquerque, Novo México, USA. TSI Press. 1995. 361 p.

WINTERLE, P. **Vetores e Geometria Analítica**. 2. ed. Campinas: Pearson, 2014. 245 p.