

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES / ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO
Trabalho de conclusão de curso II

Marcos Vinicius Xavier Guimarães Silva

Monitoramento Ambiental com Veículos Operados Remotamente

Trabalho de conclusão de curso II como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Computação apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros – Orientador. CMP - Escola Politécnica e de Artes - PUC Goiás.

Prof. Dr. Bruno Quirino de Oliveira – CMP- Escola Politécnica e de Artes - PUC Goiás.

Prof. Mestre. Carlos Alexandre Ferreira de Lima – CMP- Escola Politécnica e de Artes - PUC Goiás.

Goiânia, 2023.

Monitoramento Ambiental Com Veículos Operados Remotamente

Silva, M. V. X. G¹, Medeiros A. M. M¹, Oliveira B.Q¹, Lima, C. A. F. de.¹

¹Escola Politécnica e de Artes - PUC Goiás.

Resumo - Os ROVs possuem uma variedade de aplicações, incluindo mapeamento, exploração e monitoramento do oceano. Eles são capazes de coletar imagens de alta qualidade e medir parâmetros físico-químicos da água, o que os torna ideais para monitorar a vida marinha e observar o impacto das atividades humanas no meio ambiente, além de auxiliar na identificação e no estudo de espécies de peixes, incluindo sua abundância e distribuição. Esses registros são usados para mapear e entender mudanças sutis no ecossistema de um rio ou lago. Sua agilidade e facilidade permitem que esses robôs executem tarefas de busca e monitoramento de forma segura e econômica, sem colocar a vida humana em risco. O presente trabalho tem como objetivo construir um ROV de maneira acessível, utilizando materiais e componentes eletrônicos facilmente disponíveis no mercado como os usados em drones.

Palavras-Chave – demanda bioquímica de oxigênio, ecossistema, monitoramento, ROVs, subaquático.

ENVIRONMENTAL MONITORING USING ROVS

Abstract - ROVs have a variety of applications, including mapping, exploration and monitoring of the ocean. They are capable of collecting high-quality images and measuring physical-chemical parameters of water, which makes them ideal for monitoring marine life and observing the impact of human activities on the environment, as well as helping to identify and study species of fish, including their abundance and distribution. These records are used to map and understand subtle changes in the ecosystem of a river or lake. Their agility and ease allow these robots to perform search and monitoring tasks safely and economically, without putting human life at risk. The present work aims to build an ROV in an accessible way, using materials and electronic components easily available on the market, such as those used in drones.

Keywords - biochemical oxygen demand, ecosystem, monitoring, ROVs, underwater.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil tem visto um aumento constante no uso de drones [1], que prestam assistência em diversas áreas, como agricultura, filmagens aéreas, auxílio em resgates, inspeção e monitoramento. Os VANTs (veículos aéreos não tripulados) tiveram um desenvolvimento significativo em um curto período. Além dos drones aéreos, os ROVs (Veículo submarino operado remotamente) estão sendo cada vez mais utilizados na exploração subaquática [2]. Controlados por um operador a partir de um local remoto, esses veículos são capazes de coletar imagens de alta qualidade, amostras de água, sedimentos e organismos, além de medir parâmetros físico-químicos da água, monitorar a vida marinha e inspecionar cascos de navios, tornando-se a principal ferramenta de apoio em operações de poços de petróleo [3]. Esses equipamentos são capazes de monitorar o impacto de atividades humanas no meio ambiente, como a poluição, e auxiliam na identificação de espécies marinhas e em projetos de conservação, coletando imagens do fundo do mar para avaliar as atuais e futuras fazendas de peixes. Ao coletar imagens subaquáticas, é possível identificar as espécies que habitam a região, bem como sua abundância e distribuição. Esses registros podem ser usados para mapear e entender mudanças sutis no ecossistema [4]. A mudança do uso da terra e as estações de cultivo mais longas podem aumentar o uso de fertilizantes com posterior lixiviação para cursos de água, rios e lagos, aumentando o risco de eutrofização e perda de biodiversidade. Parâmetros, como DBO (demanda bioquímica de oxigênio), são essenciais para avaliar o impacto das atividades humanas [5]. O presente trabalho tem como objetivo construir um ROV de maneira acessível, utilizando materiais e componentes eletrônicos facilmente disponíveis no mercado como os usados em drones para monitorar a qualidade da água, sendo possível avaliar os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A história dos robôs subaquáticos, conhecidos como ROVs, remonta ao ano de 1953, quando Dimitri Rebikoff, pioneiro no desenvolvimento de tecnologia subaquática, criou o primeiro ROV. Rebikoff é reconhecido por ter desenvolvido diversas tecnologias, como o primeiro flash eletrônico subaquático, câmeras estéreo fotográficas e de filme, além de ter inventado a primeira scooter subaquática do mundo, o Torpille [6]. Compreender o funcionamento dos ROVs é fundamental para o desenvolvimento de projetos que

envolvem a exploração e monitoramento de ambientes subaquáticos. ROVs são veículos subaquáticos operados remotamente por um controlador de superfície, permitindo a realização de atividades de exploração, mas para a exploração em ambientes subaquáticos não existe somente um tipo de veículo, para realizar todas as atividades de exploração e monitoramento. Conhecidos como AUVs (Veículos Subaquáticos Autônomos) são veículos subaquáticos, totalmente autônomos e independentes, que usam uma combinação de sensores, algoritmos e software para navegar e coletar dados subaquáticos. Eles são capazes de executar missões sem a necessidade de um operador humano no controle em tempo real. Os AUVs são projetados para operações de longa duração, coleta de dados em grandes áreas e ambientes difíceis de alcançar. Enquanto os ROVs são mais adequados para trabalhos que exigem precisão e controle manual, como inspeções de estruturas submarinas, trabalhos de manutenção e operações de busca e resgate, os AUVs são ideais para operações de mapeamento e monitoramento de grandes áreas, estudos ambientais e coleta de dados oceanográficos. Ambos os veículos subaquáticos têm suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre eles depende das necessidades e objetivos específicos de cada missão subaquática. Quando se trata de ROV, a primeira aplicação que vem à mente é o uso no oceano. No entanto, o ROV também pode ser utilizado em águas interiores, como em rios, lagos e represas, para monitoramento de barragens, inspeções de pontes e outras tarefas que exijam a presença de um equipamento controlado remotamente.

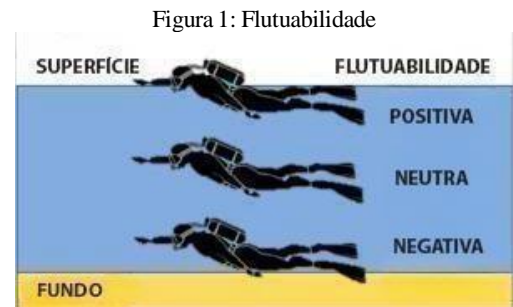
A. Aplicações

Os ROVs têm diversas aplicações em sistemas fluviais, incluindo monitoramento ambiental, pesquisa geológica, inspeção de infraestrutura e manutenção, mapeamento topográfico preciso e pesquisas arqueológicas. Eles são utilizados para monitorar a qualidade da água, a saúde do ecossistema e a presença de espécies invasoras. Além disso, são usados para explorar leitos de rios em busca de depósitos de minerais, petróleo e gás, bem como para inspecionar estruturas subaquáticas, como pontes, barragens e instalações de tratamento de água. Com sistemas de mapeamento e sensores de profundidade, os ROVs podem fornecer mapeamento topográfico preciso dos leitos dos rios. Por fim, os ROVs são utilizados em pesquisas arqueológicas para explorar locais subaquáticos, como naufrágios e outros patrimônios culturais submersos em rios [7].

B. Submersão

A flutuabilidade é uma força que age sobre um objeto imerso em um fluido, seja ele um líquido ou um gás. Essa força ascendente é resultante da densidade do fluido em relação à densidade do objeto, e é medida em Newtons (N) no Sistema Internacional de Unidades (SI). Para compreender melhor o fenômeno da flutuabilidade, é necessário entender o princípio de Arquimedes, que estabelece que a força de empuxo que atua em um objeto imerso em um fluido é igual ao peso do fluido que o objeto desloca. Em outras palavras, quando um objeto é colocado em um fluido, ele desloca um volume de fluido igual ao seu próprio volume, gerando uma força de empuxo que age em sentido oposto à força da gravidade.

Dependendo da relação entre as densidades do objeto e do fluido, a força de empuxo pode ser suficiente para fazer com que o objeto flutue ou afunde no fluido, figura 1 [8].



Fonte: SeaPerch, 2020.

A flutuabilidade pode ser dividida em três tipos: **Flutuação positiva:** ocorre quando um objeto é positivamente flutuante, ou seja, quando ele é mais leve do que o fluido que desloca. Nesse caso, o objeto flutua porque a força de empuxo exercida pelo fluido é maior do que o peso do objeto. $P < E$. [8].

Flutuação neutra: um objeto tem flutuabilidade neutra quando a sua densidade é igual à densidade do fluido em que está imerso, resultando em uma força de empuxo equilibrando a força da gravidade que, de outra forma, faria com que o objeto subisse ou afundasse. $P = E$. [8].

Flutuação negativa: ocorre quando um objeto é mais denso do que o fluido que desloca, ou seja, quando o seu peso é maior do que a força de empuxo exercida pelo fluido. Nesse caso, o objeto afundará. $P > E$. [8].

C. Pressão atmosférica e Pressão hidrostática

A pressão atmosférica é a força exercida pela camada de ar que envolve a Terra sobre a sua superfície e todos os objetos contidos nela. Essa pressão é causada pelo peso do ar, em qualquer ponto, não atua apenas para baixo, mas é a mesma em todas as direções: para cima, para baixo e para os lados. Como resultado, a pressão atmosférica afeta todos os aspectos do clima e da vida na Terra, e é um fator importante a ser considerado em diversas áreas, como a aviação, a navegação e a meteorologia. A pressão hidrostática é a pressão exercida por um fluido em repouso sobre um objeto imerso nele. A pressão hidrostática aumenta à medida que a profundidade aumenta, porque a quantidade de fluido acima do objeto aumenta. Para calcular a pressão em um ponto específico, é necessário considerar a pressão atmosférica e a pressão hidrostática. A pressão atmosférica é a força exercida pelo peso da atmosfera na superfície da Terra, enquanto a pressão hidrostática é a força exercida pelo peso da água ou outro fluido em um determinado ponto. A pressão total em um ponto é, portanto, a soma dessas duas pressões, representado pela seguinte equação 1:

$$P = p_0 + (\rho \times g \times h) \quad (1)$$

Onde:

P - Representa a pressão total no ponto em que é medida (em pascal, Pa).
 p0- Representa a pressão atmosférica no nível do fluido (em pascal, Pa).
 ρ - Representa a densidade do fluido (em kg/m³).
 g - Representa a aceleração da gravidade (em m/s²).
 h - Representa a altura da coluna de fluido acima do ponto de medição (em metros, m).

Essa fórmula leva em consideração, tanto a pressão atmosférica quanto a pressão hidrostática em um ponto específico, fornecendo uma medida mais precisa da pressão total, figura 2. [2].

Figura 2: Pressão



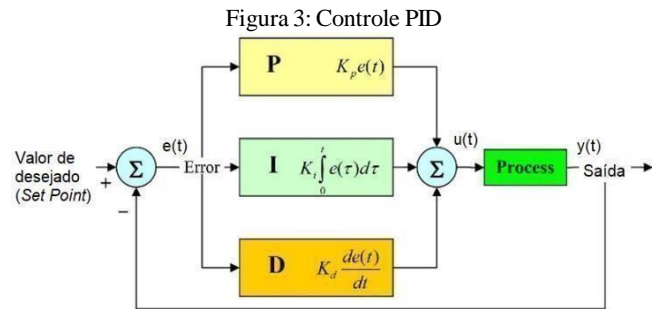
Fonte: doi:10.1109/CHILECON.2017.8229680

D. Controlador Proporcional – Integral – Derivativo

O controle PID é uma técnica amplamente utilizada para realizar o controle de variáveis contínuas em sistemas. A controladora de voo utilizará essa técnica para garantir a estabilidade do ROV durante seu deslocamento pelo fluido, permitindo regular a posição do ROV de forma precisa e eficiente, contribuindo para um movimento suave e controlado do veículo subaquático. Com o uso do controle PID, é possível manter um sistema operando de forma estável e precisa em um ponto de ajuste desejado (set-point), mesmo sob influência de distúrbios e variações. O controle PID é realizado por meio de um algoritmo matemático, que leva em consideração três componentes: proporcional (P), integral (I) e derivativo (D), equação 2.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(r) \cdot dr + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

A equação resultante do controle PID combina esses três componentes para produzir um sinal de controle que é aplicado ao sistema em questão. A ação proporcional (P) é responsável por reduzir as oscilações da variável, proporcionando estabilidade ao sistema. No entanto, ela não garante que a variável atinja o valor desejado (set-point), o que pode resultar em um desvio chamado de off-set. A ação proporcional age corrigindo o erro do sistema, multiplicando o ganho proporcional pelo erro. Isso permite uma amplitude de correção maior, que mantém a estabilidade da variável. Essa técnica é de fácil implementação e tem sido amplamente utilizada em diferentes sistemas de controle, figura 3. [9].



Fonte: Embarcados, 2014.

A ação integral (I) é responsável por eliminar o desvio de off-set, garantindo que a variável permaneça próxima ao valor desejado pelo sistema, mesmo após um distúrbio. Isso significa que a variável permanece próxima ao set-point, mesmo diante de variações bruscas nas condições de operação. A ação integral integra o erro no tempo, e quanto maior for o tempo de permanência do erro no sistema, maior será a amplitude da ação integral. Essa ação é crucial para manter a precisão e estabilidade do sistema em longo prazo, evitando erros acumulativos ao longo do tempo [9]. A ação derivativa (D) atua de forma que antecipa, evitando que o desvio se torne maior quando o processo apresenta uma correção lenta em relação à velocidade do desvio. Em outras palavras, a ação derivativa prevê a tendência de variação da variável e atua para estabilizá-la antes que ocorra uma mudança brusca. Essa ação é obtida através da diferenciação do erro em relação ao tempo, sendo que quanto maior for a velocidade da mudança do erro, maior será a ação derivativa. [9].

E. Modulação por largura de pulso

A Modulação por largura de pulso (PWM) é uma técnica de controle de circuitos analógicos usando saídas digitais, alternado entre dois estados – LIGADO e DESLIGADO – em um ritmo rápido. A relação entre o tempo LIGADO e o período total do sinal é chamada de duty cycle. Ao alterar o ciclo de trabalho, a tensão efetiva na carga pode ser variada e, portanto, a saída do circuito pode ser controlada, equação 3. [10].

$$DutyCycle(\%) = 100 \times \frac{\text{largura do pulso}}{\text{período}} \quad (3)$$

Onde:

Duty-Cycle - Valor em (%).

Largura do pulso - Tempo em que o sinal está ligado.

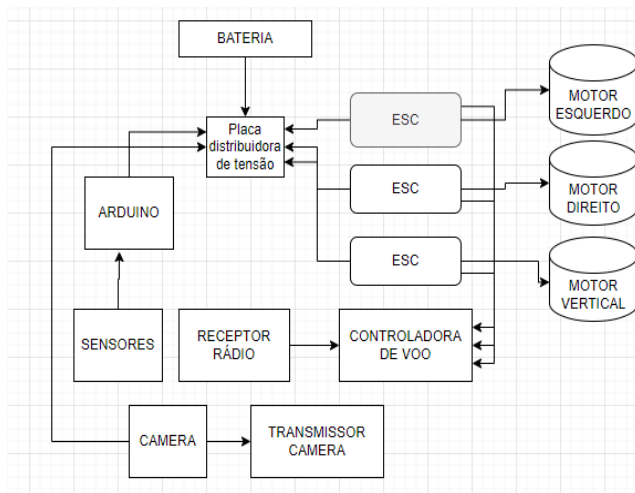
Período - Tempo de um ciclo da onda.

PWM é uma técnica de modulação em que a largura do pulso é alterada para controlar a quantidade de energia que é transmitida. É comumente usado para controlar a velocidade de um motor ou o brilho de uma luz LED.

III. DESENVOLVIMENTO

Na construção do ROV, foram utilizadas peças comuns em drones, como motores BLDC, controladora de voo, Controlador Eletrônico de Velocidade (ESC), rádio transmissor e receptor, bateria Li-Po. Cada célula de uma Li-Po tem a tensão nominal de 3,7 V, sendo que, usando várias em série, se obtêm as baterias Li-Po 3s (11,1 V), a quantidade de energia que a bateria armazena é medida em mAh. [11]. Utilizando a tecnologia de impressão 3D para fabricar as hélices. Foi projetado a parte da estrutura superior cortada a laser e o compartimento hermético de acrílico, permitindo a vedação dos componentes eletrônicos. O compartimento hermético de acrílico do ROV conta com um conector de com 8 vias, facilitando a passagem de cabos e possibilitando a adição de sensores adicionais, se necessário. Foi adicionado uma câmera FPV “First Person View” (Visão em Primeira Pessoa, em tradução livre), proporciona uma visão em tempo real do que o drone está capturando, simulando a sensação de estarem dentro do veículo. Na figura 4 demonstra as partes utilizadas no ROV, o que torna o veículo operacional para coleta de dados e imagens.

Figura 4: Diagrama de Blocos.

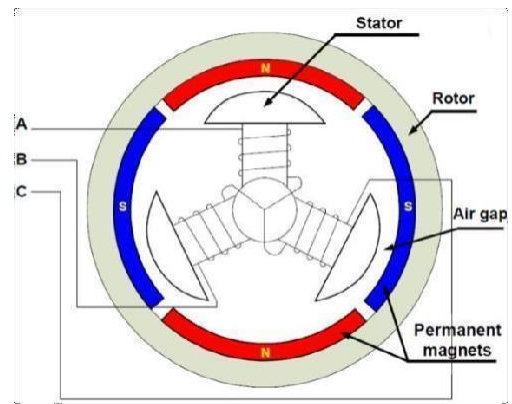


Fonte: própria

A. Motores Brushless DC

Os Motores Brushless DC (motores de corrente contínua sem escovas), são compostos por ímãs permanentes ligados a um eixo ou cilindro rotativo, que são impulsionados por campos eletromagnéticos gerados pelas bobinas do estator gerando o torque. Eles são frequentemente utilizados em aplicações que requerem alta eficiência, baixo ruído e controle preciso de velocidade, Figura 5 [12]. Diferentemente dos motores DC convencionais, os motores BLDC não possuem escovas, que são partes mecânicas que causam desgaste e limitam a vida útil do motor. Em vez disso, os motores BLDC utilizam um controlador eletrônico para comutar as bobinas do motor em sequência, permitindo que ele gire suavemente e sem oscilações [12].

Figura 5: Vista em Corte de Um Motor BLDC.

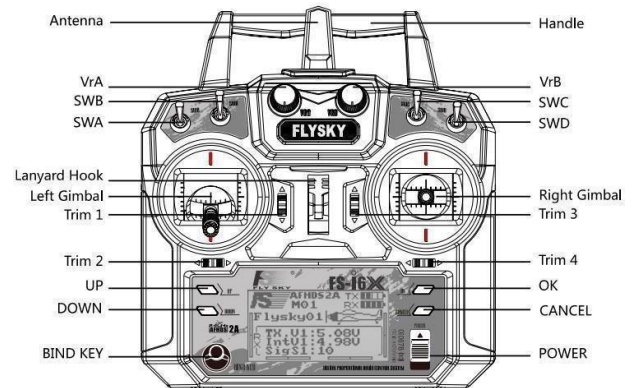


Fonte: <https://blog.kalatec.com.br/motores-bldc-vantagens/>

B. Rádio Transmissor

O Rádio FlySky FS-i6X é um transmissor de controle remoto de alta qualidade que pode ser usado para uma variedade de aplicações, desde controle de drones até veículos terrestres e aquáticos. É equipado com uma tela LCD de fácil leitura, o alcance máximo do Rádio FlySky FS-i6X pode variar dependendo das condições ambientais, interferências e outros fatores. No entanto, de acordo com as especificações do fabricante, o alcance máximo é de aproximadamente 400 metros em campo aberto, sem obstáculos, utilizando a frequência de 2,4 GHz, Figura 6. [13].

Figura 6: visão geral do rádio FlySky FS-i6X.



Fonte: <https://www.amazon.com.br/GoolRC-Transmissor-receptor-FS-iA6B-Helic%C3%B3ptero/dp/B0872QHMM3>

O Rádio conta com um receptor FS-iA10B de alta qualidade desenvolvido pela FlySky para operar em conjunto com seu sistema de controle de rádio. Ele possui 10 canais PWM, o que significa que pode controlar até 10 servos diferentes em um único receptor. Operado em uma frequência de 2,4GHz, garantindo uma conexão confiável. O receptor utiliza o protocolo AFHDS 2A, que é uma tecnologia de modulação de espectro espalhado adaptativo avançado, o que proporciona um sinal de maior imunidade a interferências e melhora a estabilidade.

C. Controladora de voo

A controladora CC3D (*CopterControl 3D*) é um dispositivo eletrônico utilizado em drones e outros veículos aéreos não tripulados (VANTS) para controlar sua estabilidade e movimentação. Desenvolvida pela empresa OpenPilot em 2012, a CC3D é uma controladora de código aberto, o que significa que é possível modificar seu software para personalizar suas funções de acordo com as necessidades do usuário.

Figura 7: CC3D, controladora de voo (flight controller).



Fonte: Própria

Técnicas como PWM e PID (Proporcional, Integral e Derivativo) para controlar a velocidade dos motores e, conseqüentemente, o movimento da aeronave permitindo ajustar o comportamento do drone em relação a diferentes parâmetros, como estabilidade, velocidade e resposta aos comandos do piloto e garantir, uma navegação mais precisa e estável.

D. Controlador Eletrônico de Velocidade

O Controlador Eletrônico de Velocidade, ou *Electronic Speed Control* (ESC) é um dispositivo utilizado em conjunto com o motor BLDC para controlar sua velocidade de rotação por meio da modulação por largura de pulso (PWM). Composto por um conjunto de transistores que realiza a alternância entre os estados ligado/desligado determina o quanto de energia irá para o motor. Essa mudança de estado ocorre de forma rápida e precisa, sempre atuando de acordo com a entrada no dispositivo.[2].

Figura 8: ESC Emax 30A



Fonte: Própria

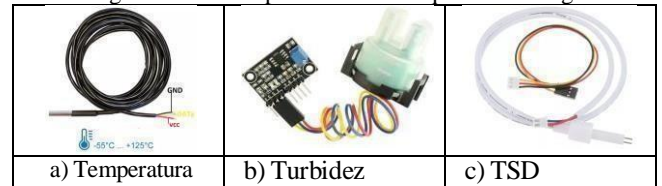
Neste projeto, foi escolhido o controlador eletrônico de velocidade da marca Emax com o firmware BLHELI, o que oferece ao usuário a possibilidade de configurar a rotação dos motores via rádio ou software. O firmware BLHELI permite que o ESC seja colocado no modo bidirecional, o que significa

que os motores podem girar nos dois sentidos, para frente e para trás.

E. Sensores de qualidade da água

Foi previsto sensores para o monitoramento da água como, sensor de temperatura DS18B20 que mede de -55°C a 125°C, sensor de turbidez que mede de 0 a 3000 NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) e o sensor de TDS (*Total Dissolved Solids*) medindo de 0 a 1000ppm, todos interconectados a um arduino para a coleta de dados. A Figura 9 os sensores.

Figura 9: sensores para monitorar a qualidade da água.



Fonte: Própria

F. Estrutura

Conforme é mostrado na figura 10, a estrutura do ROV desempenha a função de suporte para todos os seus componentes, tais como motores, sensores e unidade de controle, possuindo um peso total de 2,6kg. A estrutura lateral do ROV foi projetada com a ajuda de software Fusion 360 versões estudante, permitindo a geração de uma planta de corte, que é cortada a laser em acrílico preto de 10mm de espessura, com a altura de 19 cm, comprimento de 37 cm e largura de 27 cm. O ROV também conta com um tubo de acrílico com 20 cm de comprimento, que possui todos os equipamentos eletrônicos vedados hermeticamente para evitar a entrada de água por pressão. Essa proteção garante que os componentes internos permaneçam secos e funcionando adequadamente durante as operações subaquáticas.[2].

Figura 10: Estrutura ROV



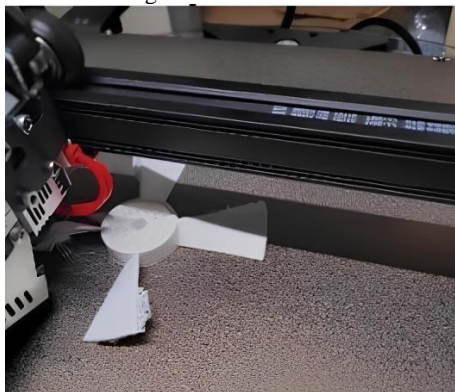
Fonte: própria

G. Hélice

A hélice é composta por pás curvas, projetada utilizando o software Fusion 360,

versão estudante. Quando a hélice gira, as pás empurram a água para trás, gerando uma força propulsiva. O princípio de funcionamento da hélice de propulsão naval é baseado nas leis da hidrodinâmica. A hélice é projetada para operar em um meio fluido, no caso, a água, onde cada uma de suas pás curvas gera uma força que empurra a água para trás. Esse movimento cria uma ação que gera uma reação igual e oposta, de acordo com a terceira lei de Newton.[14]. Com isso, a embarcação é impulsionada para frente, permitindo que se mova de maneira mais eficiente e rápida do que com outros meios de propulsão, utilizando menos energia.

Figura 11: Hélice



Fonte.: própria

IV. RESULTADOS

Foram realizados testes inicialmente em ambiente externo, fora da água, para verificar a funcionalidade da comunicação via rádio e da câmera, conforme ilustrado na Figura 12. O circuito é alimentado por bateria, interligando os dispositivos receptores do controle e o transmissor da câmera. Os testes a seco foram bem-sucedidos, não apresentando nenhuma falha.

Figura 12: Circuito



Fonte.: própria

a Figura 13, é possível observar a parte frontal, destacando o suporte do circuito e da câmera, fabricados por meio de impressão 3D. Esse suporte será hermeticamente vedado dentro do tubo de acrílico, assegurando a integridade e a proteção dos componentes.

Figura 13: Frente



Fonte.: própria

em um ambiente controlado, que consistia em uma piscina, conforme mostra a figura 14, o ROV demonstrou capacidade para realizar atividades de monitoramento por meio de sua câmera. Contudo, devido a implementação inadequada do lastro, o ROV apresentou flutuabilidade negativa, resultando em um afundamento lento. Ao atingir uma determinada profundidade, ocorreu a perda de sinal tanto do controle quanto da câmera, que era transmitido via rádio. Uma solução para contornar esse problema seria utilizar o cordão umbilical, permitindo que o ROV alcance maiores profundidades.

Figura 14: ROV



Fonte.: própria

O ROV possui uma facilidade em manipular o cordão Umbilical, possibilitando que o circuito principal permaneça fora da água. Essa abordagem oferece uma vantagem significativa, pois em caso de esgotamento da bateria, a substituição torna-se mais acessível, e também proporciona um espaço adicional dentro do tubo de acrílico para a implementação de novos sensores.

V. CONCLUSÕES

Os ROVs possuem uma ampla variedade de aplicações, sua agilidade e facilidade permitem que esses robôs executem

tarefas, de forma segura e econômica, sem colocar a vida humana em risco. O ROV construído, proposto para monitoramento ambiental é essencial na obtenção de dados abrangentes, incluindo a medição da temperatura da água, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), vazão de um rio e turbidez da água. O ROV demonstra uma capacidade de carga de aproximadamente 2,5 kg, o que possibilita a realização de diferentes tarefas e a acomodação de equipamentos adicionais. A capacidade de carga é de extrema importância, pois permite a integração de sensores e instrumentos específicos para coleta de dados mais detalhados e especializados. Com base nos resultados obtidos, constatou-se que é possível construir um ROV de maneira acessível, utilizando materiais e componentes eletrônicos facilmente disponíveis no mercado, tais como aqueles empregados em drones. Com a implementação dos sensores propostos para monitoramento ambiental podemos coletar dados abrangentes para realizar medidas de mitigação e aprimoramento da gestão dos recursos hídricos, com o objetivo de preservar a biodiversidade e promover o bem-estar das comunidades dependentes desses ecossistemas. Essa abordagem embasada em informações detalhadas fortalece nossos esforços na conservação e sustentabilidade dos recursos hídricos. Para futuras pesquisas, a exploração da implementação dos sensores propostos e do cordão umbilical pode ser considerada para avaliar a melhoria de desempenho subaquático. Também podemos considerar a transformação do ROV em um AUV (Veículo Subaquáticos Autônomo) para a execução automatizada de atividades representando uma área de desenvolvimento a ser explorada.

REFERÊNCIAS

- [1] GAZETA DO POVO. Mercado de drones: conheça o setor que dobra de tamanho a cada ano. *Jornal Gazeta do Povo*, Curitiba, PR, 2022. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/gazz-conecta/papo-raiz/mercado-de-drones-conheca-setor-dobra-de-tamanho-cada-ano/>. Acesso em: 26 maio 2023.
- [2] A. M. M. Medeiros et al., "Development of a remotely operated submarine vehicle," 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), Pucon, Chile, 2017, pp. 1-7, doi: 10.1109/CHILECON.2017.8229680.
- [3] CHRIST, R.; WERNLI, R. *The ROV Manual: A User Guide for Observation Class Remotely Operated Vehicles*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. Disponível em: <https://ntcontest.ru/upload/iblock/52d/52d49cf6584942a6f5479d0402a35bf9.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2023
- [4] FIELD, M. E.; CHAVEZ, P. S. Jr.; EVANS, K. R.; COCHRAN, S. A. *New Mapping Techniques Help Assess the Health of Hawaii's Coral Reefs*. U.S. Geological Survey Fact Sheet 084-01, 2001. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/fs/2001/fs084-01/>. Acesso em: 07 maio 2023
- [5] Bhatia, R. and Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. *Sustain. Water Resour. Manag.*, 2, 161-173. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>
- [6] REBIKOFF, Nadine. *History*. Disponível em: <https://www.rebikoff.org/history/>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- [7] O'Brien, K. M. B., & Friedrichs, M. A. M. (2013). ROVs: Applications for River Systems. *Journal of Environmental Management*, 129, 537-548.
- [8] SEA PERCH. *How Things Work: How Things Float*. Sea Perch, [S.l.], 2021. Disponível em: <https://seaperch.org/page-resources/how-things-work-how-things-float/>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- [9] Ogata, K. - *Engenharia de Controle Moderno*, Prentice-Hall, 4ª. ed., 2004.
- [10] MICROCHIP. *Pulse Width Modulation*. Disponível em: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/core-independent-and-analog-peripherals/waveform-control/pulse-width-modulation>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- [11] PPLWARE. *Baterias Li-Po: o que são e cuidados a ter*. Disponível em: Acesso em: 11 mar. 2023. <https://shre.ink/pplware/>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- [12] Bruzzone, A. G., Freschi, F., & Griva, P. (2008). Pulse-Width Modulation (PWM) Techniques for Power Converters: Principles and Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(6), 2246-2257. <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.918940>.
- [13] Shellim, M. (2010). *The Futaba S.Bus System*. Disponível em: <https://www.mshelis.com/sbus/sbus.htm>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- [14] Lei Li et al., *Aerial-aquatic robots capable of crossing the air-water boundary and hitchhiking on surfaces*. *Sci. Robot.* 7, eabm6695 (2022). DOI:10.1126/scirobotics.abm6695.
- [15] Chong, J. W. (1998). *Pulse-Position Modulation (PPM)*. *IEEE Transactions on Communications*, 46(1), 42-51. <https://doi.org/10.1109/26.651027>.



**PUC
GOIÁS**

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR

Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário
Caixa Postal 86 • CEP 74605-010
Goiânia • Goiás • Brasil
Fone: (62) 3946.1000
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante MARCOS VINÍCIUS XAVIER GUIMARÃES SILVA do Curso de ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO, matrícula 2017.10033 0113-8, telefone: (62) 998265929, e-mail mar.xavier232@Hotma'l.com.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado MONITORAMENTO AMBIENTAL UTILIZANDO ROVS, _____, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 14 de DEZEMBRO de 2023.

Assinatura do autor: Marcos Vinícius Xavier Guimarães Silva.

Nome completo do autor: MARCOS VINÍCIUS XAVIER GUIMARÃES SILVA.

Assinatura do professor-orientador: Antônio Moraes de Melo Medeiros

Nome completo do professor-orientador: Antônio Moraes de Melo Medeiros