



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE PINHEIRO
CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA



**LIMNOROV: DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO AQUÁTICO NÃO
TRIPULADO PARA MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO.**

Pinheiro – MA

2023

Centro de Ciências de Pinheiro – CCPI
Estrada de Pacas, KM 10, Bairro Enseada - Pinheiro - MA - CEP: 65200-000
Fones: (98) 3272-9743
E-mail: eng.pesca@ufma.br

FLÁVIA EDUARDA COSTA

**LIMNOROV: DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO AQUÁTICO NÃO
TRIPULADO PARA MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências de Pinheiro da Universidade Federal do Maranhão para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sávio Teixeira de Moura Diógenes.

Pinheiro – MA

2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a). Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Costa, Flávia Eduarda.

LimnoROV: Desenvolvimento de um veículo aquático não tripulado para monitoramento limnológico / Flávia Eduarda Costa. - 2023.
37 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo Sávio Teixeira de Moura Diógenes.

Curso de Engenharia da Pesca, Universidade Federal do Maranhão, Pinheiro, 2023.

1. Ecossistemas aquáticos. 2. Robótica. 3. ROV de superfície. I. Teixeira de Moura Diógenes, Prof. Dr. Rodrigo Sávio. II. Título.

FLÁVIA EDUARDA COSTA

**LIMNOROV: DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO AQUÁTICO NÃO
TRIPULADO PARA MONITORAMENTO LIMNOLÓGICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia de Pesca do Centro de
Ciências de Pinheiro da Universidade Federal
do Maranhão para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Pesca.

Aprovado em 14 / 12 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Sávio Teixeira de Moura Diógenes
(Orientador)
Doutor em Ciência Animal
UFMA

Prof. Dr^a. Stephanie Kamarry Alves de Sousa
Doutora em Engenharia Elétrica
IFS

Prof. Dr. Adilson Matheus Borges Machado
Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente
UFMA

A Deus, minha fonte de força e fé.

A minha mãe, irmã, avó e padrinho, pelo apoio e amor incondicional.

“Navegante solitário em solitude com o coletivo” (BONNETT; KAUANY, 2020).

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Fabricia de Jesus Marques Costa e a minha avó, Antonia Maria Marques Costa, que sempre trabalharam muito, lutaram, abdicaram de coisas e fizeram e fazem de tudo por mim.

A minha irmã, Fabrizia Janyne Costa Soares, que é parte de mim.

Ao meu padrinho, José Luiz Soares Privado (in memoriam), que me criou e cuidou como filha até seu último dia de vida, e hoje cuida de mim ao lado de Deus, o agradeço eternamente, será sempre lembrado, com muito amor e saudade.

A Alfrance Muniz e Mileide, por ajudarem a cuidar de mim em etapas da minha infância, foram essenciais e são muito especiais pra mim.

Ao meu professor e orientador Dr. Rodrigo Sávio Teixeira de Moura Diógenes, pelo convite para fazer parte do Laboratório administrado por ele, TECAAP, e por me orientar e incentivar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas dos laboratórios TECAAP e LAGEOS, pela companhia diária, principalmente ao Mateus Gama e Jemerson Diniz, por me ajudarem diretamente em alguns entraves no desenvolvimento do ROV.

Aos professores da instituição UFMA, e os que tive durante a minha vida, que compartilhando seus conhecimentos ajudaram a formar quem sou hoje.

Aos meus amigos pessoais, Ericka Vanessa Moraes Ribeiro e Nilber Ribeiro Correa, Deus me presenteou com os seres humanos mais sensatos e de luz que conheço, somaram e somam muito comigo.

Aos meus amigos e colegas de classe e instituição, Alene Nogueira, Alexsandra Birino, Adriano Silva, Bruno Marques, Clyver Moreira, Eduarda Queiroz, Inácio Venâncio, Francilene Pinheiro, Gustavo Silva, Jonhonata Abreu, José Edson, Rafael Santos, Ryan Furtado, Paloma Reis e Willielton Martins, que me acompanharam em determinadas etapas da vida acadêmica, incentivaram e ajudaram de alguma forma.

A atlética do meu curso, A.A.A. Poseidon, que pude fazer parte como diretora por 4 anos, foram momentos de responsabilidades, porém muito felizes, que vou guardar pra sempre.

RESUMO

A deterioração dos recursos hídricos pelo ser humano está prejudicando cada vez mais o ambiente aquático e conseqüentemente seus serviços ecossistêmicos. A fim de monitorar e avaliar a qualidade da água nos ambientes fluviais e lacustres com mais facilidade, foi desenvolvido um Veículo Operado Remotamente (ROV), que nomeamos de *Galeatus*, onde o operador pode permanecer em um ambiente seguro em terra, enquanto o veículo realiza a missão de coleta de dados limnológicos, em que comumente é necessária uma embarcação para acessar determinados pontos do ambiente aquático. O ROV *Galeatus* foi feito em estrutura catamarã, pois além de prover maior estabilidade que sistemas monocasco, é capaz de suportar maior carga útil, e os efeitos de balanço podem ser minimizados através da utilização desse tipo de estrutura. O ROV é capaz de realizar medições de parâmetros como pH e temperatura em rios e lagos relativamente calmos, sem comprometer a segurança da eletrônica embarcada, e nem dos sensores de navegação. O ROV desenvolvido se manteve leve, facilitando o transporte, assim como as operações de lançamento e recuperação. É capaz de realizar manobras como ir avante, dar ré, ir a boreste, ir a bombordo, e parar, além de possuir sistema de geolocalização para controle da posição geográfica de coleta de dados ambientais. A experiência de campo mostra que o ROV desenvolvido pode auxiliar no monitoramento e caracterização limnológica, uma vez que não é necessário nenhum tipo de embarcação tripulada para acessar determinados locais do rio para aquisição de dados, facilitando a obtenção de informações sobre os ambientes aquáticos.

Palavras-chave: Ecossistemas aquáticos, Robótica, ROV de superfície.

ABSTRACT

The deterioration of water resources by humans is increasingly damaging the aquatic environment and consequently its ecosystem services. In order to monitor and assess water quality in river and lake environments more easily, a Remotely Operated Vehicle (ROV) was developed, which we named Galeatus, where the operator can remain in a safe environment on land, while the vehicle performs the limnological data collection mission, in which a vessel is commonly required to access certain points of the aquatic environment. The Galeatus ROV was made in a catamaran structure, because in addition to providing greater stability than monohull systems, it is capable of supporting a greater payload, and rocking effects can be minimized through the use of this type of structure. The ROV is capable of measuring parameters such as pH and temperature in relatively calm rivers and lakes, without compromising the safety of the onboard electronics or navigation sensors. The ROV developed remained light, facilitating transportation, as well as launch and recovery operations. It is capable of performing maneuvers such as going forward, reversing, going to starboard, going to port, and stopping, in addition to having a geolocation system to control the geographical position for collecting environmental data. Field experience shows that the developed ROV can assist in limnological monitoring and characterization, since no type of manned vessel is necessary to access certain locations in the river for data acquisition, facilitating the obtaining of information about aquatic environments.

Keywords: Aquatic ecosystems, Robotics, Surface ROV.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO	16
2.1 GERAL	16
2.2 ESPECÍFICOS	16
3 METODOLOGIA	17
3.1 REQUISITOS BÁSICOS	17
3.2 PROJETO TÉCNICO	18
3.3 PROJETO ELETRÔNICO	20
3.4 MODELO DO ROV EM 3D	21
3.5 ORÇAMENTO DO ROV GALEATUS	22
3.6 PROGRAMAÇÃO DO ROV GALEATUS	23
4 RESULTADOS	23
4.1 ASPECTOS MECÂNICOS	23
4.2 ASPECTOS ELETRÔNICOS	25
4.2.1 Sistema de localização (GPS)	25
4.2.2 Sensores	26
4.2.3 Sistema de armazenamento de dados	27
4.2.4 Sistema de fornecimento de energia	28
4.2.5 Controle remoto	28
4.2.6 Microcontrolador	29
4.2.7 Sistema de controle de propulsão	30
4.3 ASPECTOS DE NAVEGAÇÃO	30
4.4 VALIDAÇÃO	31
5 TRABALHOS FUTUROS	32
6 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do sistema eletrônico do controle remoto (Transmissor).....	20
Figura 2 - Diagrama do sistema eletrônico embarcado (Receptor).....	21
Figura 3 – Catamarã em 3D no Sketchup.....	22
Figura 4 – Estrutura final do ROV.....	24
Figura 5 – Motores DC submersíveis.....	24
Figura 6 - Caixa estanque.....	25
Figura 7 – Cano PVC, caps PVC e placas de alumínio.....	25
Figura 8 - Módulo GPS GY-NEO6MV2.....	26
Figura 9 - Sonda de pH com Módulo de Leitura BNC PH4502C.....	27
Figura 10 - Sensor de temperatura à prova d'água DS18B20.....	27
Figura 11 - Cartão micro SD e módulo micro SD card.....	28
Figura 12 - Bateria Li-Po.....	28
Figura 13 – Controle remoto com antena externa.....	29
Figura 14 – Arduino nano.....	30
Figura 15 – Ponte H.....	30
Figura 16 – Teste do ROV no rio Pericumã.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos componentes do projeto técnico.....	18
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade e valores dos produtos utilizados.....	22
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ROV	Veículo Operado Remotamente.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
DC	Direct Current Motor.
SD	Secure Digital.
SPI	Serial Peripheral Interface.
SCK	Serial Clock.
MOSI	Master OUT Slave IN.
MISO	Master IN Slave OUT.
RPM	Rotação Por Minuto.
CS	Seleção de Chip.
PH	Potencial Hidrogeniônico.
DN	Diâmetro Nominal.
FAT	File Allocation Table.
PVC	Policloreto de Vinilo.
NBR	Norma Brasileira.
ACM	Placa de Alumínio Composto.
GPS	Global Positioning System.
TECAAP	Tecnologia Aplicada à Aquicultura e Pesca.
LAGEOS	Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.
A.A.A	Associação Atlética Acadêmica.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural dinâmico que exige uma abordagem sistêmica em sua gestão, uma vez que ela circula por diferentes sistemas naturais que são influenciados pela ação humana. Apesar de abranger aproximadamente 75% da superfície terrestre, apenas 3% desse total se refere ao volume de água doce disponível, sendo os rios e lagos os principais reservatórios para o uso humano. Portanto, é de suma importância manter um controle e monitoramento rigoroso da qualidade da água nos ambientes naturais, garantindo que ela esteja em conformidade de acordo com seus usos prioritários (MOTTER; FOLETO, 2010; SOUZA; MENDONÇA, 2022).

Os recursos hídricos estão sendo deteriorados rapidamente, o que coloca em risco os serviços ecossistêmicos providos por estes ambientes. O uso dos recursos hídricos feito sem planejamento é a principal causa da degradação da qualidade da água. A urbanização, indústria e agricultura são atividades antrópicas indispensáveis para o desenvolvimento da sociedade, porém geram impactos negativos nos ecossistemas aquáticos continentais (TUNDISI e TUNDISI, 2008; HEPP et al., 2012).

De acordo com Rosemberg e Resh, (1993); Hepp et al., (2010); Sensolo et al., (2012), Estas atividades acarretam alterações químicas e ecológicas nestes ambientes que conduzem ao desequilíbrio da flora e fauna, como perda da biodiversidade, crescimento descontrolado de espécies, mudanças nas interações ecológicas, impacto na produção de alimento e risco para os ecossistemas aquáticos, além de resultar em sérios prejuízos econômicos, como impacto na atratividade turística, restrições operacionais, desvalorização de propriedades, custos com saúde, e a aquicultura. O aporte dos resíduos gerados por estas atividades com os corpos hídricos, alteram as características limnológicas das águas, como por exemplo, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido, aumentando a acidez das águas e também a concentração de nutrientes, entre outros efeitos (HEPP, 2013).

Os estudos sobre as modificações nos ambientes naturais pelas ações antrópicas auxiliam na mitigação de impactos ambientais negativos, e na melhoria da própria qualidade de vida da sociedade humana. A crescente degradação da qualidade da água por poluição, eutrofização artificial, aumento da população de espécies exóticas e aumento da turbidez, compromete ainda mais a disponibilidade desse recurso já escasso. Em alguns municípios brasileiros a crescente perda da biodiversidade e de estoque pesqueiro das águas continentais tem levado a problemas sociais de grande magnitude, como segurança alimentar, emprego e renda, cultura, identidade, migração e deslocamento das comunidades, conflitos sociais, saúde

comunitária, educação, infraestrutura e serviços sociais (DEGRANDE et al., 2020; ESTEVES, 2011).

O monitoramento e avaliação da qualidade das águas superficiais desempenham um papel crucial na administração sustentável dos recursos hídricos. Essas práticas proporcionam uma compreensão atualizada do estado dos corpos d'água, destacando as mudanças significativas ao longo do tempo. Essa análise não apenas revela o panorama presente, mas também identifica padrões, facilitando a elaboração de diagnósticos que subsidiam atividades essenciais, como fiscalização, licenciamento ambiental e desenvolvimento de políticas públicas. Com o monitoramento, pode-se avaliar o estado de poluição, degradação ou conservação do rio, com coleta de informações regulares e a formação de um banco de dados fundamental para futuras ações (PESSOA et al., 2018; TUNDISI, TUNDISI 2008).

Os parâmetros físicos e químicos da água em rios e lagos, tais como temperatura e pH, são determinados principalmente pelas particularidades da bacia hidrográfica, e pelos detritos que o ambiente recebe na forma de matéria orgânica e inorgânica. A alteração da temperatura ocorre por causas naturais, referente à transferência de calor por radiação, condução e convecção entre a atmosfera e o solo e, por causas antrópicas, por efluentes, dentre outros (BONIFÁCIO; NÓBREGA, 2021).

Embora o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) não estabeleça valores de referência para temperatura em corpos hídricos, este parâmetro assume papel preponderante de controle no meio aquático influenciando uma série de outros parâmetros físicos e químicos. Para os organismos aquáticos, a mudança de temperatura da água pode alterar a velocidade das reações metabólicas, influenciando diretamente nos mecanismos respiratórios, nutricionais, assim como na reprodução e movimentação, além de reduzir a solubilidade do oxigênio essencial nos processos de respiração (SILVA, 2018; MARIN-MORALES et al., 2016).

A medição do pH é importante para os ambientes aquáticos, pois indica o grau de acidez ou basicidade da água, cujos valores interferem nos processos de permeabilidade da membrana celular, implicando no transporte iônico dentro e fora da célula e entre os organismos e o meio, sendo, portanto, um fator limitante para a colonização de diferentes organismos. Quando empregado para avaliar os efeitos do descarte de efluentes, o pH pode auxiliar na determinação do tamanho da área de contaminação, fornecendo informações valiosas sobre a extensão dos impactos ambientais (SILVA, 2018; MARIN-MORALES et al., 2016).

Um Veículo Operado Remotamente (ROV) é um robô subaquático móvel, ou superficial, controlado por um operador externo, não estando presente no ambiente de operação do robô. Isso é possível através de um cabo umbilical ou um sistema de controle remoto, normalmente via ondas de rádio se for um ROV superficial, e via cabo de comunicação direta se for um ROV subaquático. Os ROVs modernos possuem uma ampla gama de funcionalidades e têm tido um impacto significativo na sociedade, sendo utilizados em diversas operações tanto em ambientes marítimos quanto fluviais (AYOB et al., 2013).

Para Ferreira et al., (2016), “o conhecimento da morfologia submarina é importante em diversas áreas, tais como: o estabelecimento e manutenção de hidrovias (navegação marítima ou fluvial), obras civis (pontes, portos, píeres), a locação de cabos e dutos, a prospecção de recursos minerais e o monitoramento de assoreamento de reservatórios (abastecimento ou geração de energia).” São empregados também por diversos setores, incluindo empresas comerciais, órgãos governamentais, forças militares e instituições acadêmicas (AYOB et al., 2013). Schneider et al., (2020), afirma que os ROVs são ideais para realizar tarefas rotineiras em ambientes portuários, podem realizar tarefas oceanográficas como monitoramento de poluição e a coleta de dados de batimetria. Para uso militar, os sistemas são investigados como sistemas de contramedida de minas usando vários ROVs, que estão retransmitindo informações para uma nave-mãe, aumentando a eficácia das operações de detecção e neutralização de minas.

Diversas são as aplicações dos Veículos Operados Remotamente (ROVs), abrangendo áreas como resgate, manutenção e construção de estruturas subaquáticas, serviços de manutenção em instalações nucleares, monitoramento da qualidade da água e observação subaquática e superficial (JUNIOR, 2008).

2 OBJETIVO

2.1 GERAL

Construir e desenvolver um protótipo de veículo aquático não tripulado, operado remotamente (ROV), para monitoramento limnológico em rios e lagos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Definir os requisitos técnicos e operacionais do protótipo de ROV, considerando as características dos ambientes aquáticos a serem monitorados.
- Projetar e dimensionar os componentes estruturais, mecânicos, elétricos e eletrônicos do protótipo de ROV.
- Selecionar e implementar os sensores necessários para a realização das medições limnológicas de temperatura e pH.
- Implementar o sistema de geolocalização para controle da posição geográfica de coleta de dados ambientais.
- Desenvolver e implementar os algoritmos de controle e comunicação do protótipo de ROV, utilizando protocolos de transmissão de dados sem fio.
- Realizar testes de validação e verificação do protótipo de ROV em condições controladas de laboratório e em campo, avaliando o seu desempenho, funcionalidade e confiabilidade.

3 METODOLOGIA

3.1 REQUISITOS BÁSICOS

O ROV *Galeatus* foi desenvolvido para operar em ambientes lacustres e fluviais, sendo projetado com a intenção de ser leve e compacto, enquanto ainda mantém a capacidade de transportar uma variedade de sensores (*payload*) essenciais. Sua funcionalidade inclui a capacidade de operar em uma distância estimada de até 600m, utilizando um sistema de controle remoto via rádio, com a finalidade de realizar medições limnológicas, para avaliação da qualidade da água.

- Velocidade de operação 50 cm/s;
- Autonomia do sistema de bateria de 3:00 horas;
- Capacidade de embarque de 1 kg de carga útil;
- Capacidade de realizar medições em rios e lagos relativamente calmos, sem comprometer a segurança da eletrônica embarcada, e nem dos sensores de navegação;
- Veículo com dimensões e estruturas que facilitem o transporte, assim como operações de lançamento e recuperação;
- Capacidade de realizar manobras pré-programadas como ir avante, dar ré, ir a boreste, ir a bombordo, e parar.

3.2 PROJETO TÉCNICO

Considerando a implementação de sensores na parte interna do ROV, uma embarcação multicasco seria mais bem aproveitada, dando maior estabilidade, manobrabilidade e resistência estrutural, desta forma fez-se a escolha de uma estrutura como catamarã, visando também uma maior área de convés para instalação futura de painéis solares e mais equipamentos (Quadro 1).

Quadro 1 - Descrição dos componentes do projeto técnico.

Componente	Descrição
Arduino Nano	É uma placa de desenvolvimento microcontrolada compacta e versátil. Projetada para ser pequena e fácil de integrar em projetos eletrônicos, a placa Arduino Nano é amplamente utilizada em aplicações que exigem automação, controle e interatividade.
Ponte H Dupla L298N	Esse módulo é projetado para controlar cargas indutivas como relés, solenóides, motores DC e motores de passo, permitindo o controle não só do sentido de rotação do motor, como também da sua velocidade.
Módulo Joystick Analógico XY	É um módulo eletrônico de entrada que funciona através de dois potenciômetros, um para o movimento vertical (eixo Y) e outro para o movimento horizontal (eixo X).
Módulo de rádio HC-12 com antena externa	O módulo de rádio HC-12 é um dispositivo de comunicação sem fio que opera na faixa de frequência de 433 MHz. Tem facilidade de uso e configuração, sendo amplamente utilizado em projetos de comunicação de curto alcance. Suporta a conexão de uma

	antena externa para melhorar o alcance e a estabilidade da comunicação.
Módulo GPS GY-NEO6MV2	Tem como finalidade definir a geolocalização e fornecer os dados para uma plataforma microcontrolada, o módulo conta com uma antena externa para melhorar a recepção de sinal.
Sonda de pH com Módulo de Leitura BNC PH4502C	É projetado especificamente para medir o pH de uma solução. É uma versão atualizada do medidor de pH V1, o chip regulador de tensão integrado suporta o amplo fornecimento de tensão de 3,3 ~ 5,5V.
Sensor de temperatura à prova d'água DS18B20	Pode efetuar leituras com precisão de até $\pm 0,5$ °C, e enviar as informações para o microcontrolador utilizando apenas 1 fio.
Tubos de PVC 50mm	Tubo PVC rígido, série normal, DN 50 mm, para esgoto predial, NBR 5688.
Caps de PVC 50mm	Caps de PVC 50mm, para fechamentos de ligações de tubulações de esgoto, NBR 5688.
Caixa estanque	Caixa multiuso hermética de plástico cinza.
Placa de alumínio	Placa de Alumínio Composto (ACM) é um material composto por duas chapas de alumínio com uma chapa de polietileno em seu interior. Essa composição garante um material leve, porém forte e resistente.
Motor DC submersível 7.4V 16800 RPM	É um dispositivo elétrico que converte energia elétrica em movimento rotativo. Ele é projetado para operar em ambientes submersos.

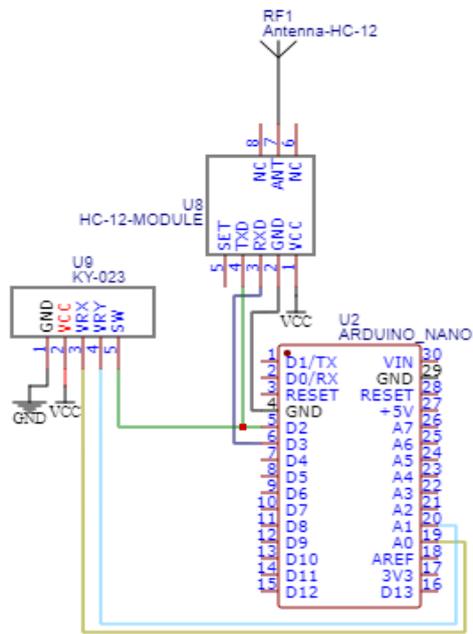
Módulo Micro SD Card	Possui a capacidade de leitura de dois tipos de cartão de memória: o cartão Micro SD tradicional e o Micro SDHC.
Cartão Micro SD	É um tipo de cartão de memória flash utilizado em dispositivos eletrônicos para armazenamento de dados.
Bateria Li-Po 2500 mAh 7.4V	Refere-se a uma bateria de íon de lítio polímero (Li-Po) com uma capacidade de 2500 miliampere-horas (mAh) e uma tensão de 7,4 volts.
Bateria recarregável 9V	É uma fonte de energia elétrica recarregável com uma tensão nominal de 9 volts, essas baterias são do tipo NiMH (níquel-hidreto metálico) ou Li-ion (íon de lítio).

Fonte: Autor

3.3 PROJETO ELETRÔNICO

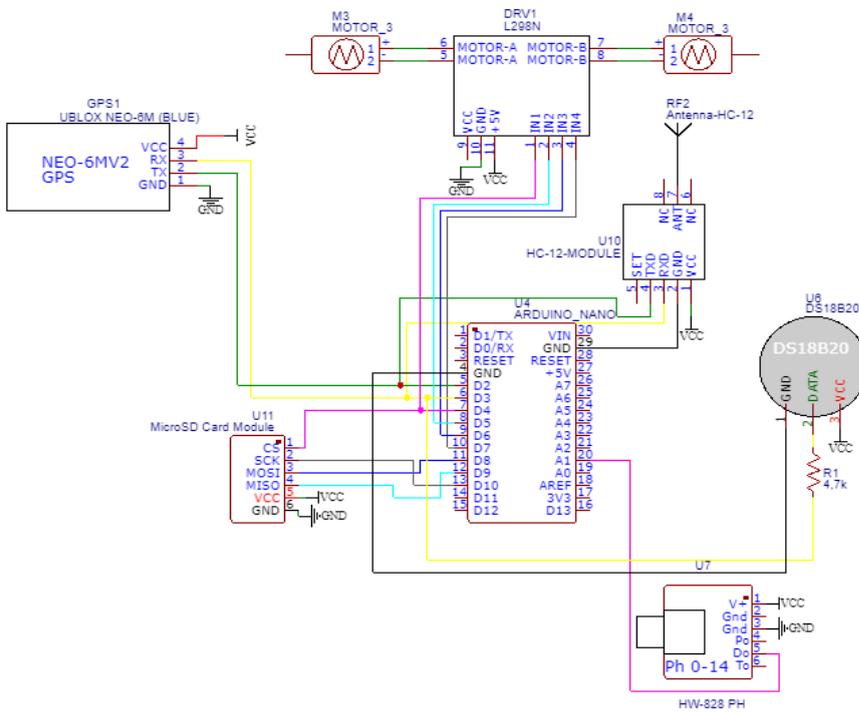
O sistema eletrônico desempenha um papel crucial no gerenciamento das operações do veículo, sendo encarregado de digitalizar os sinais provenientes dos sensores empregados no sistema de monitoramento (Figura 1 e 2).

Figura 1 - Diagrama do sistema eletrônico do controle remoto (Transmissor).



Fonte: Autor.

Figura 2 - Diagrama do sistema eletrônico embarcado (Receptor).

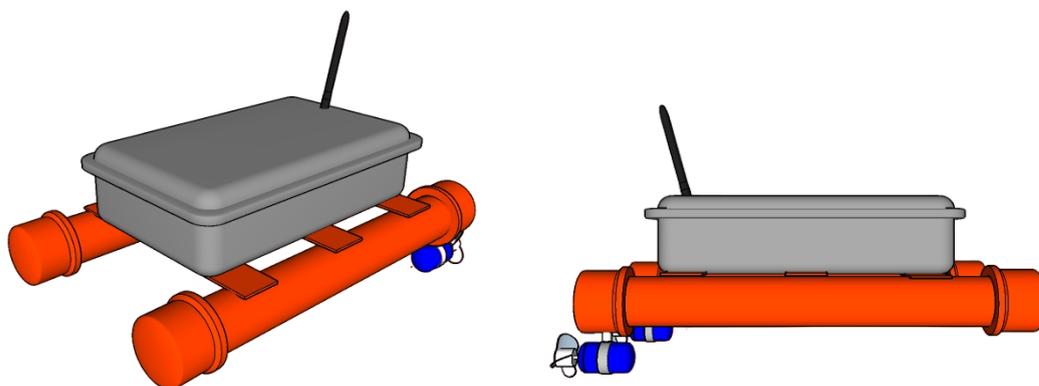


Fonte: Autor.

3.4 MODELO DO ROV EM 3D

Criar um modelo 3D de um ROV pode oferecer diversas vantagens e benefícios, desde a visualização aprimorada, até a capacidade de simular operações e aprimorar o design, contribuindo para o desenvolvimento eficiente e eficaz do veículo (Figura 3)

Figura 3 – Catamarã em 3D no Sketchup.



Fonte: Autor.

3.5 ORÇAMENTO DO ROV *GALEATUS*

O ROV *Galeatus* foi projetado e desenvolvido pensando em ser um veículo funcional com baixo custo de construção e manutenção (Tabela 1).

Tabela 1 - Quantidade e valores dos produtos utilizados.

Produto	Quantidade	Valor (R\$)
Tubo PVC	131 cm	10,00
Caps PVC	4	20,00
Caixa estanque	1	31,90
Placa de alumínio	25cm x 15	20,00
Arduino nano	2	72,00
Ponte H	1	26,99
Módulo Joystick	1	13,50
Módulo GPS	1	39,80
Sonda pH	1	119,51
Sensor temperatura	1	33,90
Motores DC	2	49,98

Módulo micro SD	1	12,99
Cartão micro SD	1	62,99
Bateria 7,4V	1	28,90
Bateria 9V	2	72,00
Jumpers	Kit	24,90
Módulo de rádio	2	143,80
Protoboard	1	16,90
Estanho	Rolo	48,74
Pasta para solda	1	15,63
Espaguete isolante	Kit	17,07
Fita isolante	1	3,00
Tinta spray	1	19,99
Total		904,49

3.6 PROGRAMAÇÃO DO ROV *GALEATUS*

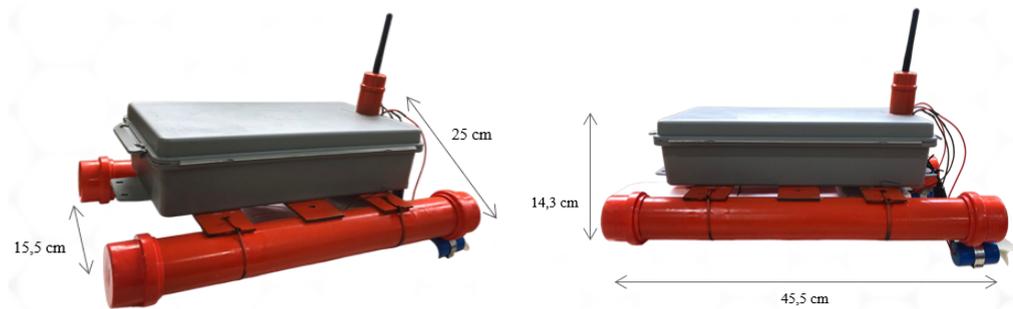
O código para controle de todos os componentes do *Galeatus* foi desenvolvido em linguagem arduino (baseada em C e C++) e foi hospedado no endereço eletrônico: <https://github.com/FlaviaEd/GaleatusROV>.

4 RESULTADOS

4.1 ASPECTOS MECÂNICOS

Embarcação multicasco em estrutura do tipo catamarã, com 15,5 cm entre os cascos, 25 cm de largura, 45,5 cm de comprimento e 14,3 cm de altura, pesando 1,7 kg com os motores e baterias inclusos. O formato de estrutura do tipo catamarã, além de prover maior estabilidade que sistemas monocasco, é capaz de suportar maior carga útil, e os efeitos de *roll* (balanço) podem ser minimizados através da utilização de plataformas com cascos desse tipo (FERREIRA et al., 2016). Além disso, multicascos apresentam maior área de convés, permitindo a instalação de mais equipamentos ou até de placas de geração de energia solar (SILVA, 2019) (Figura 4).

Figura 4 – Estrutura final do ROV.



Fonte: Autor.

Os propulsores de 7,4V 16800 RPM convertem energia elétrica em energia mecânica, permitindo que eles girem, é composto por um rotor e um estator, que são separados por um espaço de ar. O rotor é o componente giratório do motor, enquanto o estator é o componente estacionário. O rotor é composto por um conjunto de ímãs permanentes, enquanto o estator é composto por um conjunto de bobinas de fio de cobre. Quando a corrente elétrica é aplicada às bobinas do estator, um campo magnético é criado, esse campo magnético interage com o campo magnético dos ímãs permanentes no rotor, fazendo com que o rotor gire. À medida que o rotor gira, ele aciona o eixo do motor (Figura 5). O chassi foi construído usando uma caixa plástica hermética (Figura 6) peças de PVC (Figura 7).

Figura 5 - Motores DC submersíveis.



Fonte: Autor.

Figura 6 - Caixa estanque.



Fonte: mercadolivre.com.br.

Figura 7 – Cano PVC, caps PVC e placas de alumínio.



Fonte: Autor.

4.2 ASPECTOS ELETRÔNICOS

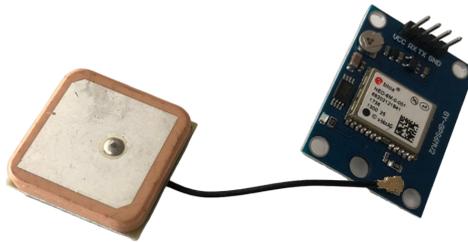
O sistema eletrônico deve ser equipado com interfaces ou portas apropriadas, em quantidade e especificações adequadas, para a aquisição de dados provenientes dos sensores selecionados para este sistema de navegação, que são:

4.2.1 Sistema de localização (GPS)

O *Global Positioning System* é um sistema de navegação por satélite que vai fornecer informações precisas de localização e tempo. Esses receptores calculam a posição do ROV com base nas informações recebidas dos satélites, permitindo determinar com precisão sua localização geográfica, velocidade, direção e altitude. De acordo com Silva (2019) o GPS

disponibiliza a posição do veículo, junto de informações como quantidade de satélites, data, hora e precisão estimada da posição (Figura 8).

Figura 8 - Módulo GPS GY-NEO6MV2.



Fonte: Autor.

4.2.2 Sensores

Estão projetados para medir variações no ambiente de estudo e converter essas informações em sinais elétricos ou dados que podem ser interpretados, exibidos ou processados.

O módulo de sensor de pH consiste em um eletrodo de pH e um módulo eletrônico encarregado de processar o sinal para ser utilizado pelo microcontrolador. O módulo eletrônico usado neste trabalho transmite um valor de tensão variando de 0 a 5 volts, dependendo da medição do pH (JUNIOR, 2019).

O DS18B20 foi o termômetro utilizado para aquisição de temperatura, sendo capaz de medir com precisão a temperatura da água. Sua comunicação é realizada por apenas 1 fio, o que significa que é necessário apenas 1 pino do microcontrolador para transferir os dados. Operando na faixa de 3 a 5,5 volts, o sensor pode ser alimentado pela própria linha de dados. Sua amplitude de operação abrange desde -55°C até $+125^{\circ}\text{C}$, e oferece uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ quando operando na faixa de -10°C até $+85^{\circ}\text{C}$ (JUNIOR, 2019) (Figura 9 e 10).

Figura 9 - Sonda de pH com Módulo de Leitura BNC PH4502C.



Fonte: Autor.

Figura 10 - Sensor de temperatura à prova d'água DS18B20.



Fonte: Autor.

4.2.3 Sistema de armazenamento de dados

O sistema de armazenamento de dados armazena os valores lidos pelos sensores diretamente em um cartão micro SD, usando um módulo micro SD, possibilitando uma transferência rápida para um computador e posterior análise e interpretação.

No contexto do Arduino e outros microcontroladores, é comum a necessidade de armazenar informações por longos períodos, realizar gráficos após a coleta de dados, receber informações de sensores ou rastrear eventos de acionamento. Essas tarefas podem ser realizadas eficientemente gravando os dados em um cartão de memória. O módulo é compatível com cartões formatados em FAT16 ou FAT32, utilizando a comunicação via interface SPI através dos pinos MOSI, SCK, MISO e CS. Sendo utilizado neste trabalho para o armazenamento de dados provenientes dos sensores: data e hora, coordenadas de GPS, pH e temperatura da água, e demais informações necessárias (CARDOSO; SILVA, 2018) (Figura 11).

Figura 11 - Cartão micro SD e módulo micro SD card.



Fonte: Autor.

4.2.4 Sistema de fornecimento de energia

O fornecimento é essencial para o funcionamento do ROV, sendo alimentado por uma bateria de 2500 mAh 7.4V recarregável, que fornece energia necessária para as operações e podem ser recarregadas entre as missões. Para cumprir sua missão, um veículo precisa de algum meio para transportar a energia que será convertida em trabalho nos seus componentes de carga. As baterias representam a solução mais comum para o desafio de armazenamento de energia em robôs móveis. Uma bateria, quando necessária, converte energia química em energia elétrica, que pode ser gradualmente utilizada (JUNIOR, 2017) (Figura 12). No ROV desenvolvido são usadas duas baterias (microcontrolador e ponte H).

Figura 12 - Bateria Li-Po 2500 mAh 7.4V.



Fonte: Autor.

4.2.5 Controle remoto

O controle remoto vai permitir controlar o veículo a partir de uma localização distante do mesmo. O sistema de controle remoto inclui interfaces que permitem comandar a propulsão e a orientação do ROV, utilizando a tecnologia de comunicação via rádio sem fio (Figura 13). O sistema de rádio utilizado no ROV desenvolvido opera até uma distância estimada de 600 m.

Figura 13 – Controle remoto com antena externa.



Fonte: Autor.

4.2.6 Microcontrolador

São dispositivos compactos que integram um processador, memória e periféricos em um único chip, são projetados para realizar tarefas específicas em sistemas embarcados, dentre outros. A unidade embarcada no ROV desempenha um papel crucial no sistema, sendo responsável pelo controle dos motores, leitura dos sinais dos sensores e comunicação com o controle remoto. A seleção do microcontrolador a ser utilizado deve levar em consideração as demandas específicas do sistema de controle embarcado. Essa unidade de processamento é encarregada da coleta de sinais analógicos provenientes de diversos sensores, do gerenciamento do sistema de propulsão e armazenamento de dados (JUNIOR, 2017) (Figura 14).

Figura 14 – Arduino nano.



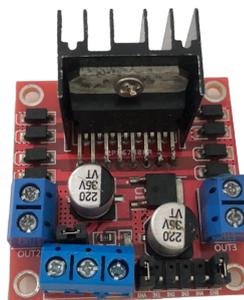
Fonte: Autor.

4.2.7 Sistema de controle de propulsão

Os sistemas de controle de propulsão são componentes críticos em veículos que utilizam motores para se deslocar, como carros, aeronaves, navios e até mesmo satélites espaciais. Esses sistemas são responsáveis por gerenciar o desempenho do motor, otimizar a eficiência, garantir a segurança e controlar a direção e velocidade do veículo.

O método mais comum para controlar a direção de rotação de motores de corrente contínua é por meio de uma ponte H. Simplificadamente, uma ponte H consiste em quatro chaves interconectadas, formando dois pares, e são associadas aos terminais do motor. Através da alternância dessas chaves, são estabelecidas conexões entre os terminais do motor e os pólos positivo e negativo da fonte de alimentação, resultando no movimento do motor no sentido horário ou anti-horário (JUNIOR, 2017) (Figura 15). Este sistema de controle foi utilizado no desenvolvimento do ROV neste trabalho.

Figura 15 – Ponte H.



Fonte: Autor.

4.3 ASPECTOS DE NAVEGAÇÃO

Na logística de transporte do *Galeatus*, foram consideradas as dimensões e requisitos específicos do veículo, incluindo seu peso. Dada a natureza sensível dos sensores e motores, que ficam expostos, foi essencial manusear com cuidado para armazená-lo e transportá-lo de maneira segura, para assim garantir sua integridade durante todo o processo de movimentação, desde o local de origem até as margens do Rio Pericumã, onde o veículo foi lançado.

O rio Pericumã, localizado na cidade de Pinheiro, foi escolhido como o local de teste para o *Galeatus*, devido às suas características favoráveis. Este rio é conhecido por sua calmaria, ausência de ondas altas e facilidade de acesso. A logística de lançamento do *Galeatus* foi simplificada, por ser leve, sendo diretamente introduzido nas margens do rio para realização dos testes planejados. A logística de recolhimento foi igualmente ao lançamento, também por meio das margens.

Essa escolha estratégica do local de teste no Rio Pericumã proporcionou condições ideais para avaliar o desempenho do *Galeatus* em um ambiente aquático controlado e propício para os objetivos da missão.

A autonomia da bateria do *Galeatus* foi de mais de 3 horas, com peso de carga útil de 1 kg, a área de instalação de payload foi 32 x 16 cm e seu método de controle foi através de um controle com antena via rádio, tem capacidade de operar em uma distância estimada de até 600 m.

4.4 VALIDAÇÃO

As funções do ROV *Galeatus* foram avaliadas repetidas vezes com a finalidade de testar o desempenho, funcionalidade e sua confiabilidade, como: esforço contra o vento, tempo de transmissão de sinal do joystick para o ROV, manobrabilidade, e distância do sinal da antena. Os sensores e aquisição de dados foram testados em laboratório e a navegação foi testada em campo. Todas as funcionalidades implementadas foram executadas e responderam com êxito conforme o planejado (Figura 16).

Percebeu-se logo no primeiro teste a grande probabilidade dos motores pararem por enroscar em pedaços de fios de nylon deixados por redes de pesca, pois não há o descarte correto pelos pescadores locais, além de outros, como caules de plantas, sacolas e etc. Constatamos também que com a presença maior de vento, e/ou o aumento da carga útil, a velocidade do ROV diminui gradativamente.

O tempo de resposta do ROV em relação a transmissão do joystick foi muito boa, visto que respondeu aos comandos de forma imediata, assim como sua navegação e flutuação. Respondeu de forma positiva em relação a presença de ventos relativamente fortes, conseguindo continuar sua navegabilidade mesmo contra o vento.

Figura 16 – Teste do ROV no rio Pericumã.



Fonte: Autor.

5 TRABALHOS FUTUROS

Consideramos algumas melhorias que podem ser implementadas futuramente, a serem realizadas a partir do veículo desenvolvido neste trabalho, tais como:

- Navegação autônoma usando o GPS embutido;
- Motores de maior potência para maior velocidade e capacidade de carga, assim como forma de contornar problemas com enrosco de objetos provenientes da poluição do rio;
- Chassi desenvolvido sob medida, de acordo com modelo 3D;
- Sistema de iluminação náutica;
- Placas solares para carregamento das baterias;
- Câmeras para acompanhamento visual das operações;
- Implementação de controle de velocidade dos motores;

- Inclusão de mais sensores para medições limnológicas, como medidor de OD, condutivímetro, turbidez e ecossonda para batimetria;
- Implementação de mecanismo automatizado para coletas de água superficial;
- Aplicativo customizado para armazenamento de banco de dados das medições limnológicas e visualização dos resultados.

6 CONCLUSÃO

No presente trabalho conseguimos definir os requisitos técnicos e operacionais do ROV *Galeatus*, projetar e dimensionar os componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos do protótipo, os sensores (pH e temperatura) foram implementados com e funcionaram adequadamente para as medições limnológicas, assim como o sistema de geolocalização (GPS) para controle da posição geográfica. Desenvolveu-se também algoritmos de controle e comunicação do ROV, o qual respondeu de forma precisa aos comandos. Todas essas respostas foram obtidas através de testes do protótipo de ROV em laboratório e em campo, onde ele se comportou de forma adequada e de acordo com o esperado, cumprindo assim integralmente suas funcionalidades previstas.

O ROV *Galeatus* pode ajudar e auxiliar as caracterizações e monitoramento de ambientes aquáticos, uma vez que não é necessário nenhum tipo de embarcação tripulada para acessar determinadas partes do local a ser monitorado para aquisição de dados ambientais. Equipamentos como o *Galeatus* desempenham um papel crucial no avanço das pesquisas em ambientes aquáticos superficiais, possibilitando uma adaptação mais eficaz às necessidades e interesses específicos dos pesquisadores, e até da comunidade. O ROV *Galeatus* está apto para receber instalações de novos sensores, como condutividade elétrica, ecossonda para batimetria, medidor de oxigênio dissolvido e turbidez, também está apto a ser convertido em um ROV autônomo superficial, por já possuir sistema de GPS integrado.

Os elementos desenvolvidos neste trabalho apresentam-se como recursos versáteis, podendo desempenhar dupla função, como ferramentas prontas para uso imediato e como ponto de partida para a concepção de novos projetos e implementações. Além disso, podem servir como alicerces iniciais para um campo distinto de pesquisa, como é o caso dos robôs autônomos superficiais, podendo aproveitar a estrutura desenvolvida neste trabalho, incorporando o conjunto abrangente de sensores aqui proposto.

REFERÊNCIAS

AYOB, Mohammad Afif. **Dynamic leveling control of a wireless self-balancing roV using fuzzy logic controller**. 2013. Tese de Doutorado. Universiti Tun Hussein Malaysia.

BIASI, C. et al. Biomonitoramento das águas pelo uso de macroinvertebrados bentônicos: oito anos de estudos em riachos da região do Alto Uruguai (RS). **Perspectiva**, v. 34, n. 125, p. 67-77, 2010.

DEGRANDE, Edmiler José Silva; FIRMINO, Glauber Verner; TORRES, Marco Aurélio Neri. Dinâmica Fluvial e Caracterização Limnológica do Córrego do Cedro, Presidente Prudente-São Paulo/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1851-1869, 2020.

CARDOSO, Claudinei Jorge; SILVA, Sandro Miguel Moreira da. **A mediação de tecnologia sustentável no ensino e aprendizagem em ciências implementado ao cultivo hidropônico**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DE ANGELIS, Franceschi; DE ANGELIS, Derlene Attili. Importância da água para a vida e garantia de manutenção da sua qualidade.

DE NÓBREGA, Maria Teresa. Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental.

ESTEVES, F. de A. Fundamentos de Limnologia. 3ª edição. **Interciência, Rio de Janeiro**, p. 790, 2011.

FERREIRA, Ítalo Oliveira; NETO, Arthur Ayres; MONTEIRO, Cristina Sameiro. O uso de embarcações não tripuladas em levantamentos batimétricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 10, p. 1885-1903, 2017.

HEPP, Luiz Ubiratan et al. Effects of agricultural and urban impacts on macroinvertebrates assemblages in streams (Rio Grande do Sul, Brazil). **Zoologia (curitiba)**, v. 27, p. 106-113, 2010.

HEPP, L. U. Caracterização limnológica de um rio urbano (Erechim-RS): uma abordagem multivariada do gradiente longitudinal ao longo do tempo. 2013.

JORGE JUNIOR, José Aparecido. **Desenvolvimento de sonda multiparâmetro dinâmica de qualidade de água (Sonda Aqua-X)= dynamic multi-parameter probe development (Aqua-X Probe)**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Brasil.

LOPES, Ubirajara B. et al. Caracterização Limnológica do Rio Amazonas na Região de Itacoatiara (Amazonas, Brasil).

MOTTER, A. F. C.; FOLETO, E. M. Um olhar sobre a gestão dos recursos hídricos: o caso do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica dos Rios Santa Rosa, Santo Cristo e Turvo-Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista Perspectiva, Erechim**, v. 34, n. 126, p. 143-155, 2010.

PESSOA, Jonatan Onis; ORRICO, Sílvio Roberto Magalhães; LORDÊLO, Maurício Santana. Qualidade da água de rios em cidades do Estado da Bahia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, p. 687-696, 2018.

ROSENBERG, Fábio M.; RESH, V. H. Biomonitoramento de água doce utilizando organismos individuais, populações e assembleias de espécies de macroinvertebrados bentônicos. **Biomonitoramento de água doce e macroinvertebrados bentônicos. Chapman & Hall, Nova Iorque, EUA**, p. 40-158, 1992.

SENSOLO, Debora et al. Influence of landscape on assemblages of Chironomidae in Neotropical streams. In: **Annales de Limnologie-International Journal of Limnology**. EDP Sciences, 2012. p. 391-400.

SCHNEIDER, Vincent E. et al. Robotic service concepts for the port of tomorrow: Developed via a small-scale demonstration testbed. In: **2020 European Navigation Conference (ENC)**. IEEE, 2020. p. 1-8.

ALVES, Arnon Jadir Rodrigues; MANERA, Leandro Tiago; CAMPOS, Marcel Veloso. Rede de sensores sem fio de baixo custo, aplicada ao monitoramento e controle em tempo real do consumo de água nas residências. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, 2019.

SILVA, Gersilane Maria do Nascimento da. Situação ambiental da área de abrangência da nascente do Rio Timbó, João Pessoa-PB. 2018.

Silva, João Batista Lamari Palma E., et al. “Desenvolvimento de sistema de baixo custo para monitoramento de integridade estrutural”. *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol. 24, nº 4, 2019, p. e12528. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190004.0853>.

SOARES JÚNIOR, Luiz Carlos Simões. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA NAVEGAÇÃO E TELEMETRIA DE UM ROV ATUANDO EM ÁGUAS RASAS. 2017.

SOUZA, José Anderson Ribeiro de. Análise da qualidade do rio Poxim através de mapeamento sistemático. 2022.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos. 631 p. **Soils and Sediments**, v. 2, n. 4, p. 216-222, 2008.