

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA EMBARCAÇÃO DE BAIXO CUSTO
CONTROLADA A DISTÂNCIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM
CORPOS D'ÁGUA RASOS**

MARLON MENDES DE OLIVEIRA

Itajubá, Junho de 2021.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA**

MARLON MENDES DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA EMBARCAÇÃO DE BAIXO CUSTO CONTROLADA
A DISTÂNCIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM CORPOS D'ÁGUA
RASOS**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Hídrica – Mestrado Profissional.

Área de concentração: Gestão de Recursos Hídricos

Orientadora: Prof. Dr. Alessandro Luvizon Bergamo

Coorientador: Prof. Dr. Italo do Valle Tomaz

Itajubá, Junho de 2021.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA HÍDRICA**

MARLON MENDES DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UMA EMBARCAÇÃO DE BAIXO CUSTO CONTROLADA
A DISTÂNCIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM CORPOS D'ÁGUA
RASOS**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 28 de junho de 2021, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Hídrica – Mestrado Profissional.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alessandro Luvizon Bergamo (Orientador)
Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu
Prof. Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes

Itajubá, Junho de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Joana e Valdir, responsáveis pela minha existência e pela pessoa que sou. Na maneira simples de viver, ensinaram-me um caminho de caráter e honestidade. À minha mãe, que sempre torceu, me incentivou a estudar e lutar pelo melhor.

Agradeço a minha esposa Melissa, que me acompanhou durante toda a trajetória do mestrado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alessandro Luvizon Bergamo, pela orientação, sugestões valiosas e por todo o estímulo.

Agradeço ao amigo Italo do Valle Tomaz pela parceria indispensável no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao amigo Thiago Luiz Lara Oliveira pela contribuição que tornou esse momento possível.

Agradeço aos professores Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu e Dr. Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes por suas preciosas sugestões.

Agradeço ao IFF Campus Cabo Frio e seus servidores, pelo suporte para o desenvolvimento desta pesquisa.

E sobretudo à Deus, onisciência, onipotente e onipresente.

“O homem nasceu para aprender. Aprender tanto quanto a vida lhe permita”.

Guimarães Rosa.

RESUMO

Lagos e lagunas são caracterizados por uma rede de ecossistemas em diferentes regiões geográficas e climáticas. Muitos sofrem com impactos da destruição de suas margens e lançamento de efluentes, no entanto, sem que haja qualquer tipo de monitoramento. Uma das maiores dificuldades no estabelecimento da rotina de monitoramento é sua logística que necessita de pessoal treinado e muitos equipamentos caros, tais como embarcação, motor, meios de transporte para estes equipamentos. Outro fator complicador é que muitos desses ecossistemas são rasos e não permitem a entrada de embarcações tripuladas. Portanto, este projeto teve por objetivo o desenvolvimento e avaliação de uma embarcação controlada à distância, não tripulada, capaz de mensurar variáveis como temperatura, pH e coletar amostras. Um sistema de posicionamento global (GPS) embarcado obtém a localização da coleta em relação ao globo terrestre (em coordenadas geográficas), enquanto os dados coletados são armazenados em cartão de memória não volátil. A embarcação é alimentada por energia solar, sendo controlado por placas de prototipagem eletrônica do tipo Arduino®. O protótipo desenvolvido contemplou a utilização de tecnologias de baixo custo em seu projeto e montagem, além da utilização de código aberto. O barco robô foi testado em campo, apresentando resultados satisfatórios para as medições de pH, temperatura e coleta de amostras de água, além de boa estabilidade, manobrabilidade, fácil controle à distância e um custo total próximo a R\$ 2.000,00. Este dispositivo tem potencial para contribuir com o monitoramento ambiental em corpos d'água rasos, esta capacidade de navegação não foi observada em outros projetos de barcos robôs.

Palavras-chave: Barco Robô, Arduino, Embarcação Controlada à Distância, Corpos d'água Rasos.

ABSTRACT

Lakes and lagoons are a network of ecosystems in different geographical and climatic regions. Many of the non-studied hydrographical systems are subject to negative effects of degradation with destruction of river sides and pollution of rivers affluents, many of which are not monitored. One of the major shortcomes for establishing a monitor routine of a water body is cost. Since monitoring a water body or hydrographical system requires advanced equipment and specialized personnel, the acquisition and implementation is prohibitive in many cases, especially for developing countries. Another difficulty is that many of the ecosystems are shallow, making the use of manned vessels impossible. Thus, this study aimed at developing and evaluate a remotely controlled vessel, which is able to measure significant variables, such as temperature, pH and to collect water samples. A global positioning system (GPS) obtains the location of the sample collection in relation to the earth globe (geographic coordinates), these data are stored in a non-volatile memory card. Additionally, the vessel is moved through solar energy, the navigation is controlled by Arduino® electronic prototyping boards, based on an open source code. The prototype was developed using low cost technologies and does not require specialized personnel to assemble and operate. The robot vessel was tested in field, showing satisfactory results for pH measurements, temperature and successfully collected water samples. The prototype is an advance in terms of low-cost (estimated cost R\$ 2,000.00) implementation for monitoring hydrographic systems and was specially developed for environmental monitoring of shallow bodies of water, this navigation capability has not been observed in other robot boat designs.

Keywords: Robot Vessel, Arduino, Remotely Controlled Vessels, Shallow Waters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo.	4
Figura 2: Parque Estadual da Costa do Sol.	5
Figura 4: Exemplos de embarcações que utilizam energia solar através de painéis fotovoltaicos	8
Figura 5: Modulação por largura de pulso das saídas do Arduino com frequência aproximada de 500 Hz.	11
Figura 6: Rede de Qualidade de Água em Operação em 2021	12
Figura 7: Dimensões e geometria do protótipo da embarcação. Unidades em milímetros. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.....	14
Figura 8: Protótipo em isopor revestido com resina epóxi reforçada com fibra de vidro e seus compartimentos estanque.	15
Figura 9: Algoritmo para verificar os valores dos canais do rádio controle. Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.....	16
Figura 10: Fluxograma lógico de programação para controle de navegação da embarcação. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.	17
Figura 11: Visão geral do sistema de propulsão: A) Base montado B) Base desmontada detalhando parafusos destinados ao alinhamento do conjunto. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.....	18
Figura 12: Reforço na popa da embarcação utilizando madeira e fibra de vidro. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.....	19
Figura 13: Sistema de controle da propulsão. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.....	20
Figura 14: Rádio controle utilizado no sistema de controle da propulsão. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.....	20
Figura 15: Controlador de carga.....	21
Figura 16: Sistema de aquisição das variáveis de interesse.	22
Figura 17: Fluxograma lógico da programação.	23
Figura 18: Detalhe do sistema de aquisição e armazenamento das variáveis.	23
Figura 19: Detalhe do Suporte para erguer os Sensores: A) Abaixado B) erguido C) vista inferior.....	24
Figura 20: Teste do motor.	26
Figura 22: Gráfico comparativo de temperatura da água	28
Figura 23: Termômetro digital e GPS usados para validar os sensores do protótipo	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Complexos lagunares	2
1.2 Área de estudo	2
1.3 Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo e o Parque Estadual Costa do Sol.....	3
1.4 Sistemas de monitoramento em tempo real	5
1.5 Sistemas autônomos para monitoramento ambiental.....	6
1.6 Sistema de alimentação.....	8
1.7 Microcontroladores	9
2 JUSTIFICATIVA	11
3 OBJETIVOS	13
3.1 Objetivos gerais:	13
3.2 Objetivos específicos:	13
4. METODOLOGIA.....	14
4.1. Construção barco monitor	14
4.2. Sistema de propulsão	17
4.3.Construção da popa.....	18
4.4. Sistema de navegação	19
4.5. Sistema de aquisição das variáveis de interesse	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1. Custos.....	24
5.2. Teste de campo	26
5.3. Coleta das amostras de água	27
6. CONCLUSÃO.....	29
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
ANEXO A- ALGORITMO DE NAVEGAÇÃO.....	37
ANEXO B – ALGORITMO PARA COLETA DE VARIÁVEIS.	41
ANEXO C – ALGORITMO PARA MENSURAR OS VALORES DO PULSO DOS CANALIS DO RÁDIO CONTROLE.....	47

1. INTRODUÇÃO

As alterações na qualidade da água dos ecossistemas aquáticos podem ser causadas por processos naturais ou antropogênicos. Entre aquelas de origens antropogênicas, a ocupação humana da bacia de drenagem pode causar o assoreamento, o lançamento de efluentes domésticos e resíduos industriais sem tratamento, comprometendo o funcionamento dos ecossistemas aquáticos além de inviabilizar o uso humano (ESTEVEZ, 2011; FIA *et al.*, 2015).

O crescimento da população na região costeira tem intensificado a degradação dos seus ecossistemas, aumentando a degradação dos recursos hídricos costeiros (GUERRA, 2008).

As áreas marinhas costeiras, os ecossistemas lagunares e os ambientes estuarinos desempenham papel fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, esses ambientes são utilizados em múltiplos usos, como a pesca, a extração do sal, lazer e o turismo. Esses ambientes também são utilizados em algumas regiões como corpos receptores de resíduos da atividade humana (BARROSO & FABIANO, 1995; BERTUCCI *et al.*, 2016).

A identificação de alterações nas variáveis bióticas e abióticas de maneira a gerar propostas de manejo para viabilizar o uso futuro dos recursos existentes é extremamente importante para um bom programa de gestão ambiental (BARBOSA, 1994).

Atualmente, o monitoramento da qualidade da água no Brasil e em específico na região dos Lagos Fluminense no estado do Rio de Janeiro, é dispersa e de conteúdo limitado (ANA, 2021; INEA, 2021). Uma das maiores dificuldades no estabelecimento da rotina de monitoramento desses ambientes é sua logística, que necessita de pessoal treinado e muitos equipamentos caros, tais como embarcação, motor, meios de transporte para estes equipamentos etc. Outro fator complicador é que muitos desses ecossistemas são rasos, o que impede em muitos casos a navegação com embarcações tripuladas. Os custos da caracterização da água se elevam, à medida que se exijam informações mais detalhadas, maior frequência de amostragem ou utilização de tecnologia mais avançada (ANA, 2011).

Considerando esses fatores, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento e avaliação de um protótipo de um barco robô equipado com sistemas para o monitoramento da qualidade da água, com interfaces de sensores (pH e temperatura) e atuadores que permitem a navegação em águas rasas e coleta de amostras de água a fim de promover o monitoramento de forma eficaz, contínuo e de baixo custo.

1.1 Complexos lagunares

No Brasil, lagos e lagoas costeiras se estendem desde o Nordeste até o Rio Grande do Sul, enquanto no Estado do Rio de Janeiro destacam-se as lagoas de Araruama, Saquarema e Maricá (ESTEVEVES, 2011).

Kjerfve (1994) definiu lagoas costeiras como corpos de águas interiores separados do mar por barreiras de areia e conectados com o oceano por uma ou mais entradas que permanecem abertas pelo menos de forma intermitentemente, na maioria dos casos são rasas, podendo estar sujeitas a mistura das marés, variando sua salinidade de um lago costeiro de água doce até um lago hipersalino. Estes sistemas normalmente são altamente produtivos possibilitando projetos de aquicultura, mas também são altamente sensíveis à ação antrópica.

As lagoas costeiras ocupam 13% da área costeira mundial; na América do Norte, estão aproximadamente 33,6% das lagoas costeiras do mundo, a América do Sul tem 10,3%, a Europa 8,4%, a África 18,7%, a Ásia 22,2% e a Austrália 6,8% (BARNES, 1980).

No litoral do estado do Rio de Janeiro, as lagoas possuem profundidade média variando entre 0,7 e 3 m; a maioria é conectada ao mar permanentemente por um único canal estreito e raso. O tempo de residência das águas no interior das lagoas varia entre 6 e 83 dias (KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

A lagoa de Araruama é a segunda maior lagoa do Brasil (KJERFVE *et al.*, 1996), com profundidade média de 3 m e um perímetro de aproximadamente 190 km, apresentando áreas rasas extensas entre 0,5 a 1,5 metros. Sua largura máxima é de 14 km e comprimento de 33 km (SEMADS, 2001; SILVA, 2019).

Uma das maiores dificuldades no estabelecimento da rotina de monitoramento desses ambientes é sua logística, os custos e as extensas áreas rasas, em que uma alternativa para o monitoramento é a utilização de robôs (DUNBABIN & MARQUES, 2012).

1.2 Área de estudo

A área de aplicação do presente trabalho compreende a região entre os municípios de São Pedro da Aldeia e Cabo Frio que se localizam na baixada litorânea do Estado do Rio de Janeiro (próximo à latitude 22°50' Sul e longitude 42°00' Oeste) a 160 km da capital.

A região costeira entre os municípios de Rio das Ostras e Maricá tem cerca de 193 quilômetros de litoral. Esta região é conhecida pela influência dos eventos de ventos nordeste fortes, clima seco, complexos lagunares e vegetação diversa e bem diferente do resto do Estado e do Brasil. Essas características são mais acentuadas nos municípios de Arraial do Cabo, Cabo

Frio e Búzios e a região está entre as regiões brasileiras consideradas Centro de Diversidade Vegetal pelas organizações internacionais *World Wildlife Fund* (WWF) e *International Union for the Conservation of Nature* (IUCN) (JESÚS *et al.*, 2019; COE *et al.*, 2007).

Na região de Cabo Frio, os fortes ventos NE durante o verão austral e a mudança acentuada da linha da costa brasileira na região de Cabo Frio, de N-S para E-W, favorecem a ocorrência do fenômeno da ressurgência (LESSA, 2009; MAHIQUES, 2005). Trata-se de um processo onde há substituição das águas quentes por águas com menor temperatura, ricas em nutrientes oriundas do fundo do oceano, nessas áreas onde ocorre ressurgência, existe uma relação de dependência entre este fenômeno e a circulação atmosférica regional, já que a ocorrência de ventos paralelos à costa é importante para a manutenção destes fenômenos (NAIDU, 2007; LITTLE *et al.*, 1997).

Segundo Oliveira (2008) e Campos *et al.* (2000), a região de Cabo Frio é influenciada por vários mecanismos climáticos atuantes na América do Sul capazes de causar algum tipo de influência na ressurgência, como a clara relação com a intensidade e frequência dos ventos de nordeste alterando os padrões de variabilidade da ressurgência. Mudanças no padrão dos ventos alísios devido às mudanças climáticas ou eventos ligados ao El Niño e La Niña, resultariam em alterações no padrão dos eventos de ressurgência, o que pode alterar a quantidade de nutrientes trazidos pela ressurgência e reduzir a produtividade de pescada regional (VALENTIN, 1984; AN *et al.*, 2000).

As variações naturais na região de Cabo Frio, proporcionadas pelas especificidades climáticas e oceânicas torna a região uma área de grande relevância ecológica e com elevada biodiversidade, tanto marinha como terrestre (BOHRER *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2008).

1.3 Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo e o Parque Estadual Costa do Sol

Com o objetivo de proteger tais ecossistemas, destacam-se duas das mais relevantes unidades de conservação da região: a Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo e o Parque Estadual Costa do Sol. Essas duas Unidades de Conservação protegem os três ambientes: o mar, as lagoas e a parte terrestre (BOHRER *et al.*, 2009; COE *et al.*, 2007).

A Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo localiza-se no município de Arraial do Cabo, região de Cabo Frio. É uma unidade de conservação de grande interesse ecológico-social, pois visa a proteger o sustento dos pescadores artesanais, a flora e a fauna locais assegurando o uso sustentável dos recursos naturais (FONSECA-KRUEL *et al.*, 2004).

Foi criada pelo Decreto S/Nº de 03 de janeiro de 1997 (Figura 1), ocupando uma área de 516,01 km² de lâmina d'água, ao longo de uma faixa de 3 milhas náuticas adjacente à costa (MELO *et al.*, 2009).

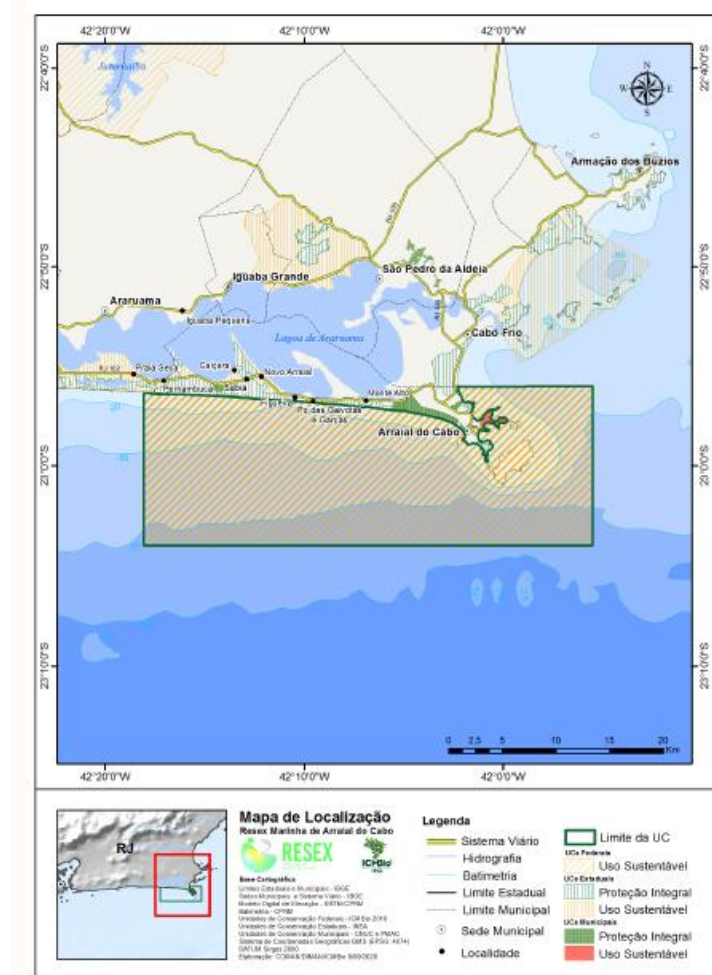


Figura 1: Mapa de localização da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo. Fonte: ICMBio, 2020.

O parque Estadual da Costa do Sol foi criado pelo Decreto Estadual nº 42.929 de 18 de abril de 2011 com área de aproximadamente 98,41 km², objetivando assegurar a preservação dos pontos remanescentes de Mata Atlântica e ecossistemas associados da região das baixadas litorâneas, e também possibilitar a recuperação das áreas degradadas daquela região, servir como refúgio para espécies migratórias, possibilitar a proteção de espécies vulneráveis, endêmicas e ameaçadas de extinção da fauna e flora, sua localização é mostrada na Figura 2 (CORRÊA *et al.*, 2012).

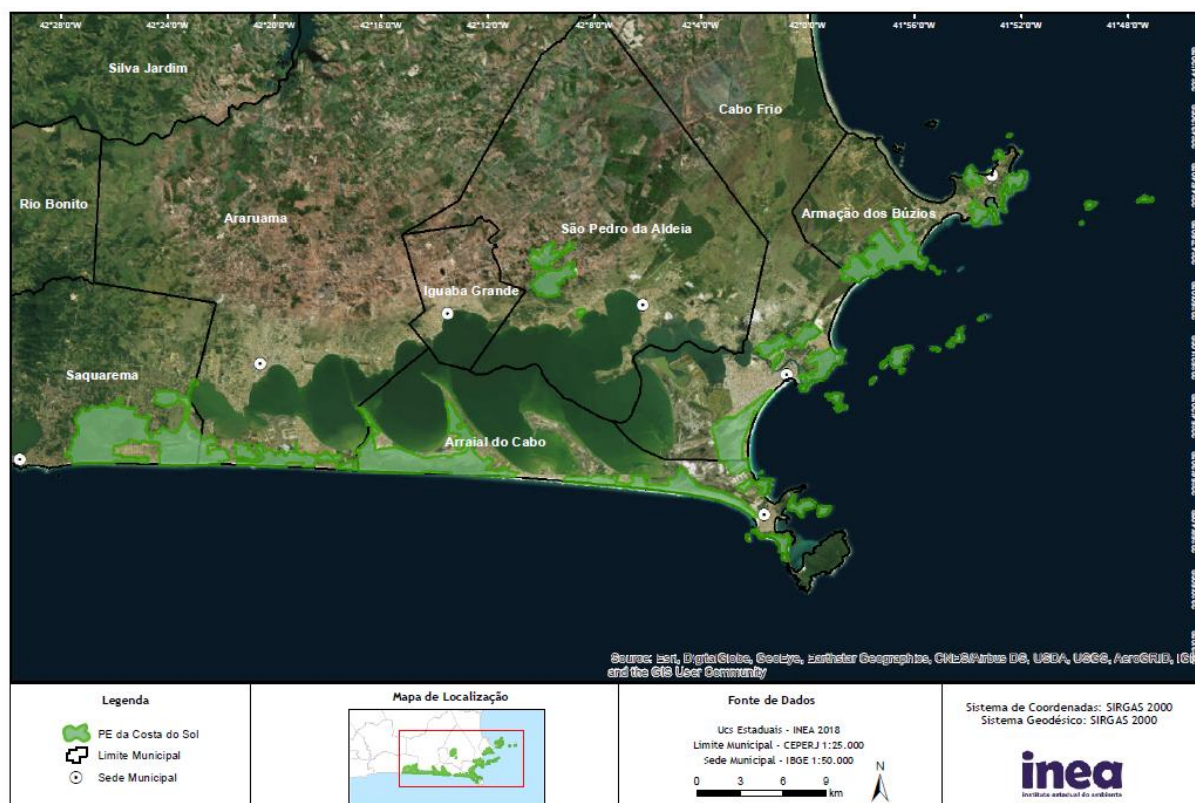


Figura 2: Parque Estadual da Costa do Sol. Fonte: INEA, 2018.

1.4 Sistemas de monitoramento em tempo real

As sondas multiparamétricas são equipamentos eletrônicos portáteis, que permitem o monitoramento e controle em tempo real, realizando diversas medições simultaneamente. Existem diversos modelos e fabricantes de sondas no mercado, variando a quantidade e capacidade de parâmetros que são analisados, tais como temperatura da água, temperatura ambiente, pressão atmosférica, turbidez, oxigênio dissolvido, salinidade, condutividade elétrica, íons cloreto e outros. A utilização de sondas multiparamétricas no monitoramento de corpos d'água já proporciona maior facilidade na execução das coletas, já que o processo é realizado por um equipamento automático, diminuindo a demanda de análises em laboratório. A quantidade de parâmetros avaliados pelas sondas multiparamétricas impacta diretamente no custo para aquisição dessas sondas (MENDONÇA, 2016).

A utilização de sondas oferece facilidade de operação e gestão para obtenção das informações, diminuindo os custos operacionais, logísticos e a exposição das pessoas a riscos de segurança, mas mesmo com este sistema, ainda ocorre a necessidade de custos dispendiosos com aquisição e instalação da sonda no fundo do rio ou lago, além de estarem sujeitas a ações de vandalismos e roubos (MARTINS, 2020).

1.5 Sistemas autônomos para monitoramento ambiental

Nas últimas décadas, cientistas e engenheiros se concentraram no desenvolvimento de plataformas autônomas de pequeno porte e baixo custo para o monitoramento da qualidade e dados específicos da água com o objetivo de aumentar a taxa de amostragem e reduzir o custo (CHAVEZ *et al.* 2018).

O ramo da robótica teve um grande progresso, com o aprimoramento dos sensores e algoritmos, que contribuíram para um maior grau de aplicações operacionais e possibilitaram planejar missões autonomamente. Na atualidade, robôs podem ser vistos operando em ambientes naturais ou criados pelo homem, como oceanos profundos ou usinas nucleares, sendo utilizados como ferramenta na coleta de dados por cientistas como, por exemplo, para rastrear a proliferação de algas nocivas, monitorando variáveis climáticas e até estudando vulcões remotos. Embora ainda exista uma grande variedade de problemas a serem resolvidos nas operações com robôs, o uso dos mesmos em ambientes hostis estabeleceu uma nova fronteira para a robótica e para as ciências ambientais (DUNBABIN & MARQUES, 2012).

Segundo Smith *et al.* (2010), os robôs aquáticos desempenham um papel importante na coleta de dados oceanográficos, apoiando novas descobertas e melhorando nossa compreensão do oceano, como os veículos subaquáticos autônomos que podem ser utilizados pelos pesquisadores para implementar técnicas de monitoramento e amostragem auxiliando no estudo da ressurgência dos oceanos, a mistura das marés e outros processos oceânicos.

Na Universidade do Sul da Califórnia, pesquisadores realizam trabalhos integrando tecnologia, comunicação e exploração científica de ecossistemas aquáticos focado em fornecer informações relacionadas à proliferação de algas nocivas e qualidade geral da água. Para isso, foi desenvolvida e implantada uma rede de sensores para monitorar e observar as regiões costeiras do sul da Califórnia, utilizando uma combinação de *hardware* comercial sem modificação e *hardware* comercial ligeiramente ou totalmente modificados para comunicar com a rede de sensores instalados em boias estacionárias ao longo da costa (SMITH *et al.*, 2010).

Um sistema semelhante composto por dez boias estacionárias e um barco autônomo móvel, para medições “*in situ*” e em tempo real, de fatores químicos e físicos relacionados à quantidade e dinâmica de microrganismos em escalas biologicamente relevantes para pequeno lago é detalhado por Sukhatme *et al.* (2007). Nesse sistema, as boias estacionárias monitoram continuamente o ambiente aquático no local, comunicando os dados coletados através de

sensores a uma estação em terra e também ao barco robótico, tendo a capacidade de navegar e colher amostras de forma autônoma.

Sistemas utilizando barcos autônomos também são utilizados no controle ambiental. Kim *et al.* (2016) desenvolveram um pequeno barco do tipo casco duplo (catamarã) equipado com um dispositivo para coletar águas-vivas no mar. Um sistema utilizando visão computacional foi incorporado para detectar a água-viva de forma autônoma. Além disso, o projeto desenvolveu um algoritmo para orientação e navegação de forma autônoma. O desempenho da embarcação e do algoritmo para detecção e remoção de águas-vivas baseadas em visão de máquina foi demonstrado através de experimentos em testes de campo no lago de Masan Bay, localizada na costa sul da Coreia do Sul.

Steccanella *et al.* (2020) utilizaram sistema computacional e redes neurais artificiais para desenvolver um sistema capaz de detectar a linha d'água utilizando imagens tiradas por câmeras montadas em veículos autônomos de superfície de baixo custo empregados no monitoramento ambiental. A detecção da linha d'água é um processo chave para obter uma detecção rápida de obstáculos permitindo a navegação autônoma de embarcações.

No Brasil, existem alguns projetos utilizando robôs para monitoramento ambiental, como o projeto IRACEMA (Instrumentos Robóticos Autônomos para Coleta e Monitoramento Ambiental) do governo do estado do Ceará, elaborado pelo Instituto de Tecnologia da Informação e Comunicação (ITIC) e Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer – Campus Nordeste (CTI-NE), em parceria com Instituto de Ciências do Mar (Labomar) da Universidade Federal do Ceará (UFC) e Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). O barco robótico autônomo (Figura 3) foi desenvolvido para o monitoramento e coleta de dados ambientais em regiões costeiras, fluviais e lacustres, executando tarefas de sensoriamento científico, coleta de amostras e monitoramento de unidades de conservação (RODRIGUES, 2017).



Figura 3: Projeto IRACEMA. Fonte: Divulgação/Labomar UFC, 2017.

1.6 Sistema de alimentação

A maioria dos robôs para monitoramento atualmente utilizam energia solar através de painéis fotovoltaicos. No entanto, existe um limite à quantidade de painéis solares e de baterias que uma embarcação autônoma ou convencional pode transportar normalmente o limite é a superfície útil da embarcação, como pode ser visto na Figura 4 (DUNBABIN & MARQUES, 2012).



Figura 4: Exemplos de embarcações que utilizam energia solar através de painéis fotovoltaicos. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Um sistema fotovoltaico isolado, também chamado de sistema “off-grid”, é composto por painéis fotovoltaicos que realizam a transformação da energia solar em energia elétrica. As

baterias têm a função de armazenar a energia elétrica, e o controlador de carga tem a função de fazer o gerenciamento da energia solar enviando para a bateria ou diretamente para os consumidores, como motores, lâmpadas, sensores, atuadores e outros (SANTOS & JABBOUR, 2013).

As células solares transformam a energia luminosa, proveniente do Sol em energia elétrica. Módulos solares são agrupamentos de células dotadas de meios que lhes permitem resistir a condições ambientais adversas, a esse agrupamento dá-se o nome de painel fotovoltaico (SANTOS, 2011).

Um sistema fotovoltaico isolado armazena a energia durante os períodos de baixa demanda para utilizá-la durante os períodos de maior demanda. O armazenamento de energia é importante nos intervalos de funcionamento nos quais a potência elétrica produzida não está em conformidade com a potência requerida pelas unidades consumidoras. As baterias eletroquímicas recarregáveis são comumente utilizadas para armazenar a energia elétrica. Para aplicações em sistema fotovoltaico, existem alguns tipos de baterias que são de interesse, tais como, baterias de chumbo-ácido, íon-lítio e níquel-cádmio (LUNA FILHO, 2017).

A eficiência energética nas atividades de coleta de dados está diretamente ligada à resistência dos robôs principalmente nas aplicações marítimas. Dunbabin & Marques (2012) citam parte do programa de flutuação de perfil ARGO, onde flutuadores autônomos têm uma durabilidade superior a 1.500 dias nas correntes oceânicas. Outras tecnologias são usadas como fonte alternativa de energia propulsora. Um exemplo é o planador subaquático desenvolvido por Weeb *et al.* (2001), que extrai sua energia propulsora do fluxo de calor entre o motor do veículo e o gradiente térmico do oceano tropical. Podem ser encontrados na literatura outras soluções, como Rynne *et al.* (2010), que desenvolveram um veículo autônomo de superfície movido a vento e energia solar usando uma vela de asa rígida.

1.7 Microcontroladores

Nos dias atuais, a eletrônica e computação têm proporcionado evoluções tecnológicas a custos acessíveis. Os microcontroladores podem ser compreendidos como um computador em um único chip, contendo um processador, memória, periféricos de entrada e de saída, temporizadores, dispositivos de comunicação e circuitos integrados que podem ser programados para realizar algumas funções específicas. São muito utilizados em testes de bancada pela praticidade, podem ser usados para cumprir as funcionalidades de aquisição de dados e para o controle de dispositivos simples (NEGREIROS, 2019).

O Arduino® é uma placa eletrônica com um microcontrolador programável, sendo uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto (“open-source”) com linguagem de programação baseada na linguagem *Wiring* (GONZAGA et al., 2019). Já o hardware do Arduino® é composto por uma placa de prototipagem na qual são construídos os projetos, enquanto o *software* é um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE), precisando ser executado em um computador, onde é feita a programação. Para *upload* ou recuperação dos dados para a placa de prototipagem Arduino®, utiliza-se a saída USB do computador. A IDE reúne características e ferramentas de apoio para agilizar e principalmente introduzir na programação usuários não familiarizados com o desenvolvimento de *software*. Os programas conhecidos como *sketches* comunicam à placa o que deve ser executado durante o seu funcionamento. A placa de prototipagem Arduino® possui pinos de entrada e saída do microcontrolador utilizados para conectá-lo a outros circuitos ou sensores (TEIXEIRA & PEREIRA, 2019).

O modelo Arduino® Uno R3, possui 14 pinos de entrada e saída digital, 6 pinos de entradas analógicas e 6 pinos de saídas analógicas. Ela também possui entrada USB para conexão com um computador, não necessitando de fonte de alimentação externa quando ligada ao computador (MCROBERTS, 2015).

As entrada e saídas do Arduino® Uno R3 possuem a seguinte configuração:

- Os pinos de 0 a 13 podem funcionar como saídas ou entradas digitais;
- Os pinos 3, 5, 6, 9, 10 e 11 têm a possibilidade de serem utilizadas como saídas analógicas, são conhecidas como portas PWM (*Pulse Width Modulation*), estão simbolizadas pelo símbolo “~”;
- Os pinos 0 e 1 também são as portas RX e TX, utilizadas para realizar comunicação serial de recepção e transmissão de dados;
- Os pinos A0, A1, A2, A3, A4 e A5 são entradas analógicas.

As entradas e saídas digitais recebem ou enviam apenas sinais de nível alto ou baixo, ou seja, 0V ou 5V, as entradas analógicas, podem receber sinais com amplitude variável de 0 a 5V. Da mesma forma, as saídas analógicas enviam sinais variáveis de 0 a 5V, os quais são enviados na forma de modulação por largura de pulso, conhecida como PWM. A modulação por largura de pulso é um sinal analógico, emitido na forma de pulsos digitais, com largura de pulso variável, semelhante a uma onda quadrada em que a parte alta do sinal é considerado o estado ligado e a parte baixa do sinal é considerado o estado desligado, em que a técnica consiste em manter a frequência fixa e variar o tempo da parte alta do sinal, este tempo é chamado *duty*

cycle, na figura 5 é apresentada a modulação por largura de pulso das saídas do Arduino® Uno R3 (HIRZEL, 2021).

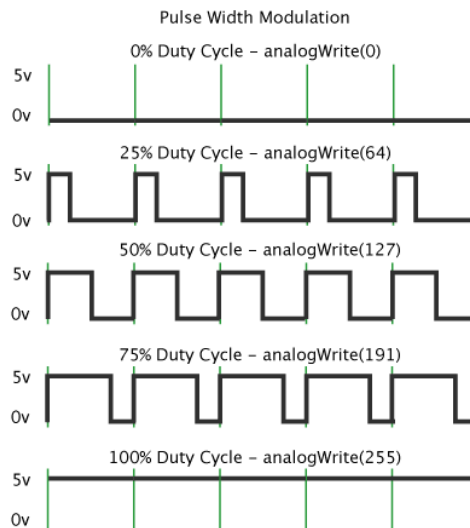


Figura 5: Modulação por largura de pulso das saídas do Arduino com frequência aproximada de 500 Hz.
Fonte: HIRZEL, 2021.

2 JUSTIFICATIVA

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade da Água (PNQA), opera uma rede de monitoramento da qualidade de água com 1.340 pontos de registros de dados em todo o país, onde são feitas análises de quatro parâmetros (pH, oxigênio dissolvido, condutividade e temperatura) utilizando sondas multiparamétricas postas em contato com os corpos d'água (ANA, 2013).

O custo é um fator limitador para a avaliação adequada da evolução da qualidade das águas brasileiras, sendo necessário, para a redução desses custos, envolver as unidades da federação no PNQA. Contudo, nem todos os Estados brasileiros possuem condições de monitorar a qualidade de suas águas devido à escassez de recursos financeiros e ausência de pessoal capacitado para a tarefa, o que resulta em lacunas geográficas. Ocorrem também situações em que as campanhas de monitoramento são interrompidas, deixando uma lacuna temporal no monitoramento. Para se ampliar o conhecimento da qualidade das águas no Brasil, é fundamental eliminar as lacunas geográficas e temporais no seu monitoramento (ANA, 2013).

A região dos Lagos, no estado do Rio de Janeiro, como o próprio nome sugere, possui diversos corpos hídricos e muitos desses sequer tiveram ou têm dados básicos levantados. Apesar de sua importância para diversas espécies de peixes, crustáceos e aves nativas e migratórias, poucas lagoas da região são monitoradas (INEA, 2019). Foram identificados

estudos sobre o lago de Araruama (BELART, 2019; BERTUCCI, 2016; KNOPPERS *et al.*, 1991; SCHUINDT, 2018) e a Lagoa Vermelha na divisa entre os municípios de Araruama e Saquarema (SILVA *et al.*, 2005). Já para lagoas menores como Pitanguinha, Pernambuco e Brejo do Espinho em Cabo Frio, não foi encontrado qualquer registro de monitoramento na literatura científica. Na Figura 6, é apresentada a rede de monitoramento da qualidade de água em operação tanto pela ANA como pelo INEA na região, pode ser observado que o monitoramento de forma pontual acontece em poucos locais.



Figura 6: Rede de Qualidade de Água em Operação em 2021. Fonte: Adaptado de ANA (2021).

Uma das maiores dificuldades no estabelecimento da rotina de monitoramento desses ambientes é sua logística, que necessita de pessoal treinado e muitos equipamentos caros, tais como embarcação, motor, meios de transporte para estes equipamentos etc. Outro fator complicador é que muitos desses ecossistemas são rasos e não permitem a navegação com embarcações tripuladas. Nesse contexto, a utilização de pequenas embarcações não tripuladas para monitoramento da qualidade dos corpos hídricos é fundamental.

A utilização de barcos robô para monitoramento ambiental evita o transporte de colaboradores em barcos e carros, diminuindo sua exposição aos riscos de acidentes, afogamento, exposição às intempéries e riscos ergométricos, assim como também é possível a implementação de atualizações e alterações para se adaptar à necessidade, como realizar batimetria do fundo do reservatório, acompanhamento de peixes com sonares (FERREIRA *et al.*, 2016).

Nesse sentido, nesta dissertação pretende-se desenvolver um sistema integrado de monitoramento e organização de dados ambientais de baixo custo, face aos eventos climáticos locais, assim como associá-lo à questões mais amplas, tais como os eventos de El Niño e La Niña e os cenários de mudanças climáticas globais em parcerias entre os principais órgãos ambientais locais, como os campi do Instituto Federal Fluminense (IFF) e Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ), Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Instituto Estadual do Ambiente (INEA).

O início do monitoramento de ecossistemas da região ocorrerá a partir do monitoramento em corpos d'águas rasos (lagoas costeiras). A partir do sistema proposto, pode-se dar um salto de qualidade no monitoramento ambiental, com excelente custo/benefício para a gestão ambiental. No futuro, poderá ser desenvolvido um sistema de transmissão de dados em tempo real.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver e validar um protótipo de uma embarcação de baixo custo controlada remotamente, multiuso e de código aberto, capaz de mensurar variáveis aquáticas. Esta tecnologia proporcionará inicialmente o monitoramento dos corpos hídricos da região dos lagos, no estado do Rio de Janeiro.

3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- Construir e testar um casco que garanta estabilidade, segurança e navegabilidade ao protótipo de embarcação;
- Viabilizar sistema de propulsão da embarcação por energia solar que garanta a autonomia do barco robô;
- Identificar tecnologias, materiais e sensores de baixo custo para atender a coleta e análise de água em um barco robô;
- Calibrar e validar sensores de baixo custo disponíveis no mercado através da comparação com sistemas convencionais;
- Validar a embarcação para monitoramento ambiental, a partir de diferentes sensores e armazenamento de dados em cartão de memória não volátil.

4. METODOLOGIA

4.1. Construção barco monitor

Para cumprir os objetivos do presente estudo, foi projetado e construído um protótipo de embarcação tipo catamarã. A estrutura e potência de propulsão foram dimensionadas para uma capacidade de carga de 10 kg, sendo 8 kg provenientes dos equipamentos que deverão ser transportados pelo protótipo (bateria, painel solar fotovoltaico, sensores, sistema elétrico etc.) e 2 kg para cargas extras que possam surgir (DANTAS & WEISS, 2015).

Durante a etapa de projeto, dimensionamento e construção do barco robô, o software SolidWorks foi utilizado como ferramenta de auxílio para a condução do projeto (Figura 7). A escolha ajudou na otimização do tempo e na assertividade da montagem. Com isso, as medidas foram conferidas e ajustadas para que posteriormente fossem confeccionadas as peças em tamanho real.

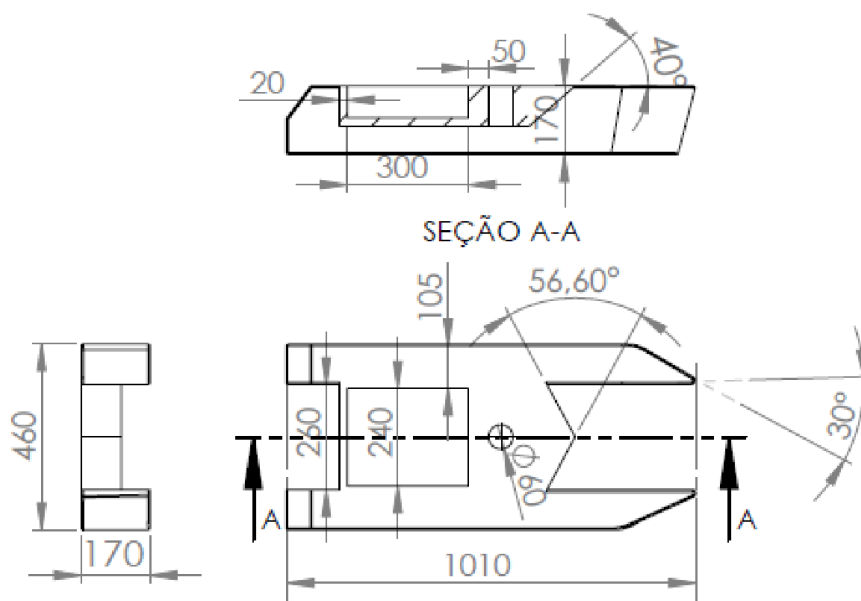


Figura 7: Dimensões e geometria do protótipo da embarcação. Unidades em milímetros.
Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

A estabilidade e flutuabilidade são componentes de essencial importância para um barco confiável. Os barcos do modelo Catamarã possuem grande estabilidade devido a sua estrutura formada por dois flutuadores (FERREIRA, 2007). O conjunto proposto é composto por isopor revestido com resina epóxi reforçada com fibra de vidro, com 1010 mm de comprimento e 105 mm de largura, unidos por uma placa de compensado naval revestida com resina e fibra de vidro, a madeira reforçada com fibra de vidro facilita a fixação de parafusos (BAL, 2017).

A geometria foi projetada para gerar o menor arrasto possível favorecendo o deslocamento na água (NASSEH, 2011). Os motores, baterias e controladores são alojados em compartimentos estanques, com tampas que permitem a manutenção dos equipamentos embarcados (Figura 8).

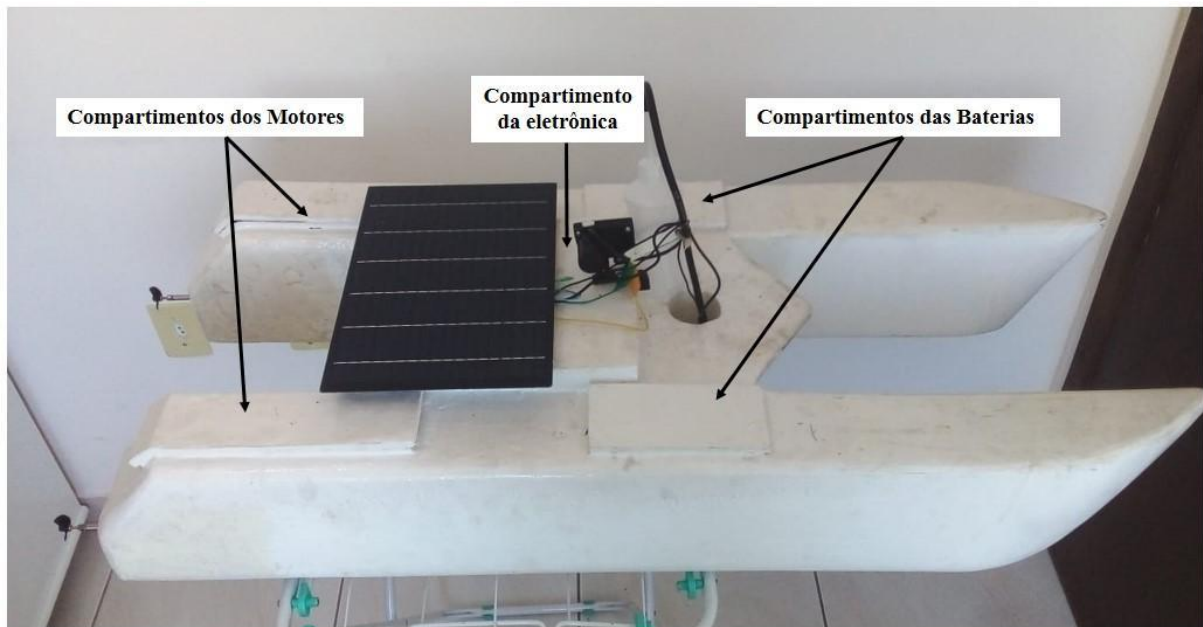


Figura 8: Protótipo em isopor revestido com resina epóxi reforçada com fibra de vidro e seus compartimentos estanque. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O casco do protótipo possui um design com compartimentos para instalação de toda eletrônica, controladores e baterias protegidos contra intempéries como, sol, chuva e respingos de água. Em sua parte superior, foi instalado o módulo solar, responsável pela manutenção da energia elétrica necessária para o carregamento das baterias e funcionamento de todos os sistemas, como os de navegação, propulsão e coleta de dados. O desenvolvimento dos algoritmos de navegação (**Anexo A**) foi realizado no IDE do Arduino®.

Duas placas de prototipagem eletrônica Arduino® Uno R3 foram utilizadas, sendo uma dedicada ao sistema de navegação e outra para o sistema de aquisição e armazenamento das variáveis de interesse. Esta arquitetura de hardware, com duas placas, possibilita a troca do sistema de aquisição das variáveis sem comprometer a operacionalidade da embarcação.

O protótipo foi idealizado para utilizar componentes eletrônicos de baixo custo, usando a plataforma Arduino® e seus acessórios. Cada pino do Arduino pode fornecer ou receber uma carga máxima de 40 miliampère (mA) e se deve ter atenção ao valor da corrente requerida pelos sensores e atuadores, porque cargas que exigem mais de 40 mA podem danificar os pinos configurados como saídas (ARDUINO, 2021).

Devido à dificuldade de encontrar sensores de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica de baixo custo, o protótipo possui somente os sensores de temperatura, pH e módulo GPS. No futuro, outros sensores poderão ser incorporados, como os citados acima, além dos sensores batimétricos para medição de profundidade, sendo necessário a adaptação apenas no algoritmo do sistema de aquisição das variáveis de interesse.

Os sinais dos canais do rádio controle são enviados na forma de modulação por largura de pulso, sendo necessário medi-los para desenvolver o algoritmo de navegação. Os valores do pulso dos canais foram mensurados por meio de um algoritmo desenvolvido na IDE do Arduino® (**Anexo C**), o que possibilitou descobrir os valores dos canais do rádio controle para desenvolvimento do algoritmo de navegação (Figura 9).

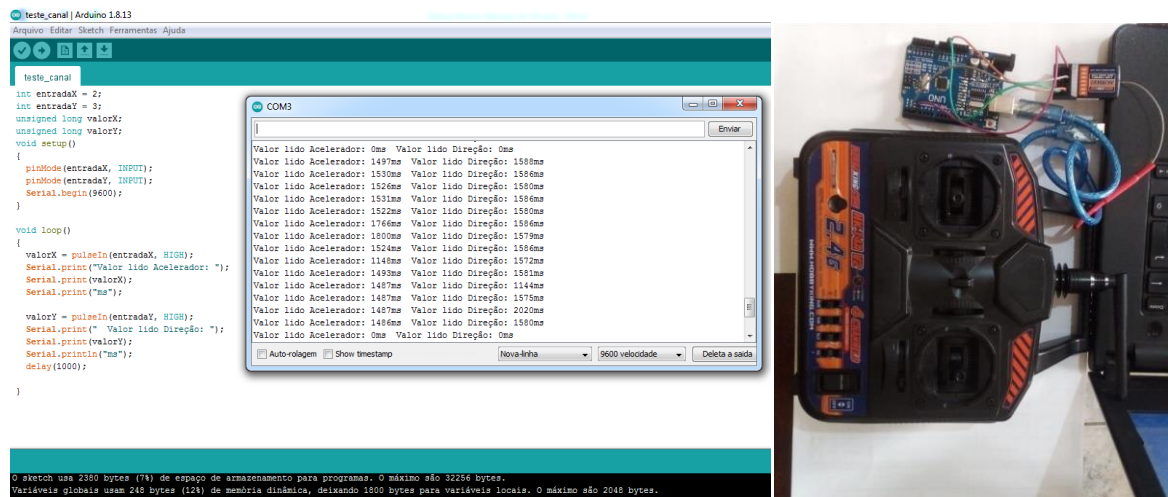


Figura 9: Algoritmo para verificar os valores dos canais do rádio controle. Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

O fluxograma lógico da programação desenvolvida pode ser visto na Figura 10.

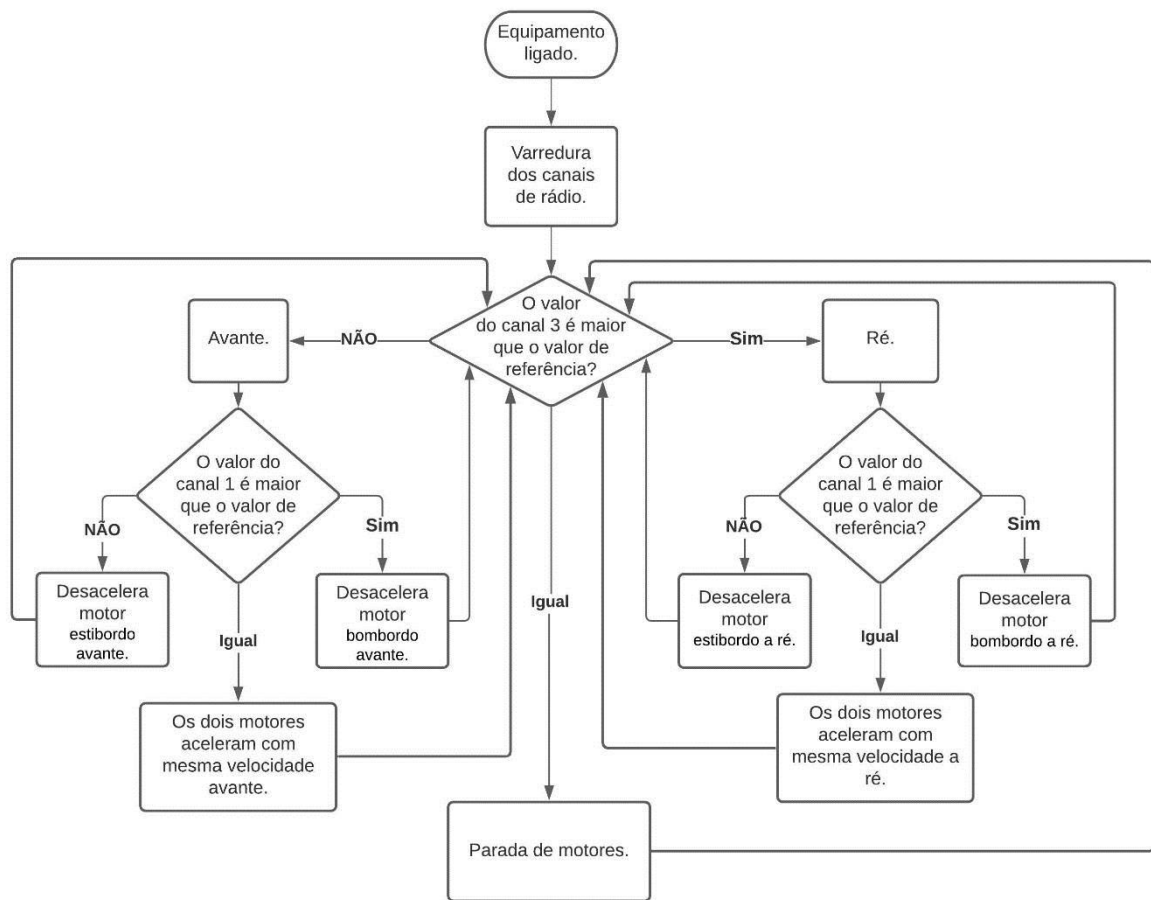


Figura 10: Fluxograma lógico de programação para controle de navegação da embarcação.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

4.2. Sistema de propulsão

Para manter o objetivo do projeto de baixo custo, o motor proposto é o modelo 3650 4300KV, do fabricante Ocday sem escova, que possui uma potência de 900 watts, tensão máxima 13 volts e corrente máxima de 69 amperes. Este motor tem uma rotação máxima de 50.000 RPM e as seguintes dimensões:

- Diâmetro externo do motor de 36 mm;
- Comprimento do motor de 50 mm;
- Comprimento do eixo de 15 mm;
- Diâmetro do eixo de 5.00 mm;

O eixo e hélices são do fabricante Feilun, o eixo da hélice e do modelo FT009-11, a hélice e do modelo FT009-12. A base do sistema de propulsão é fabricada em compensado naval, reduzindo o peso ao mesmo tempo que oferece resistência à umidade. A base passou por processo de usinagem para garantir a precisão do conjunto, e quatro parafusos são usados para realizar o perfeito alinhamento do sistema (Figura 11).

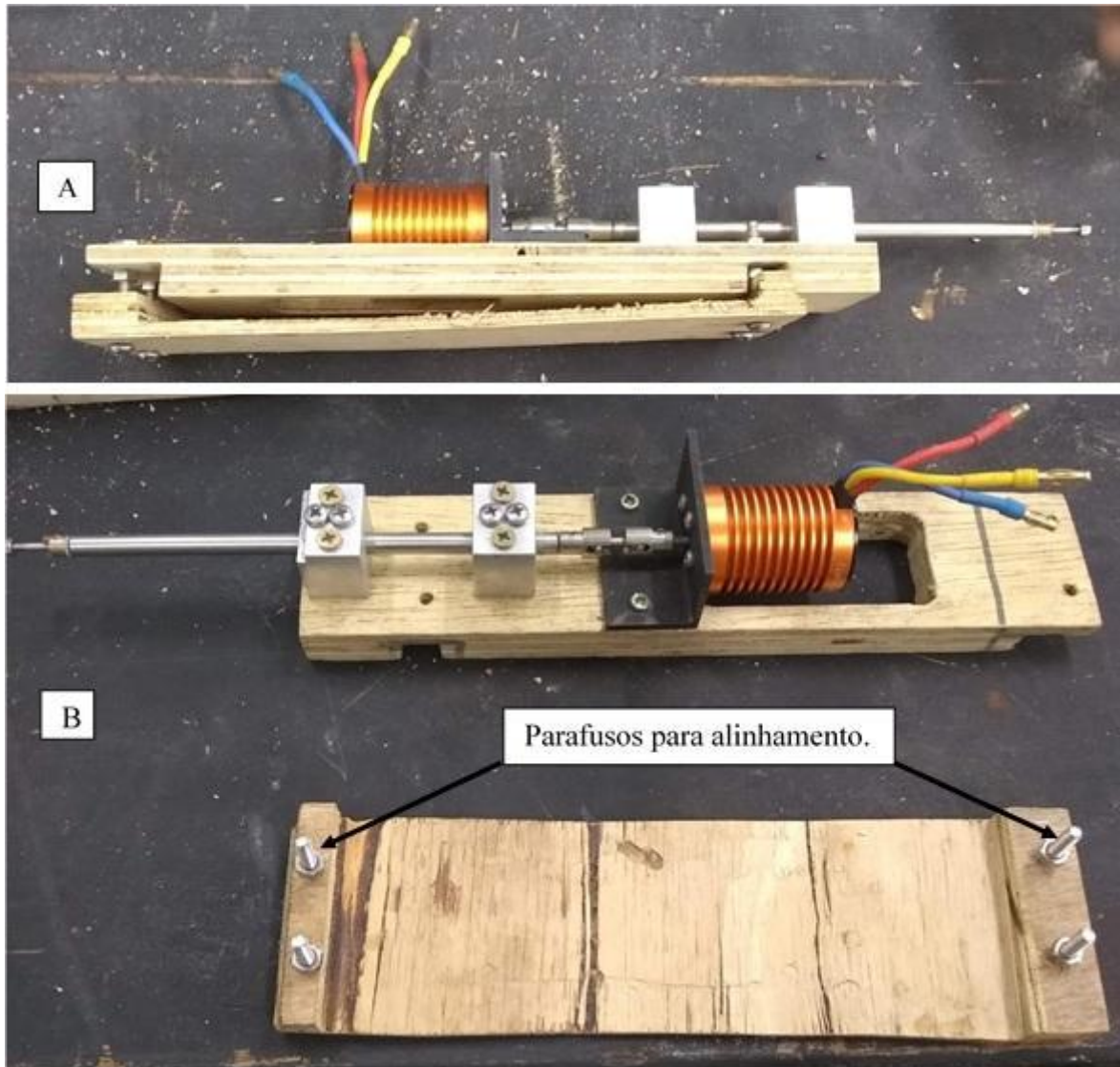


Figura 11: Visão geral do sistema de propulsão: A) Base montado B) Base desmontada detalhando parafusos destinados ao alinhamento do conjunto. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

4.3. Construção da popa

A popa da embarcação foi construída com madeira reforçada com fibra de vidro objetivando aumentar a resistência para utilização de elementos de fixação como parafusos ou pregos (Figura 12; BAL, 2017).

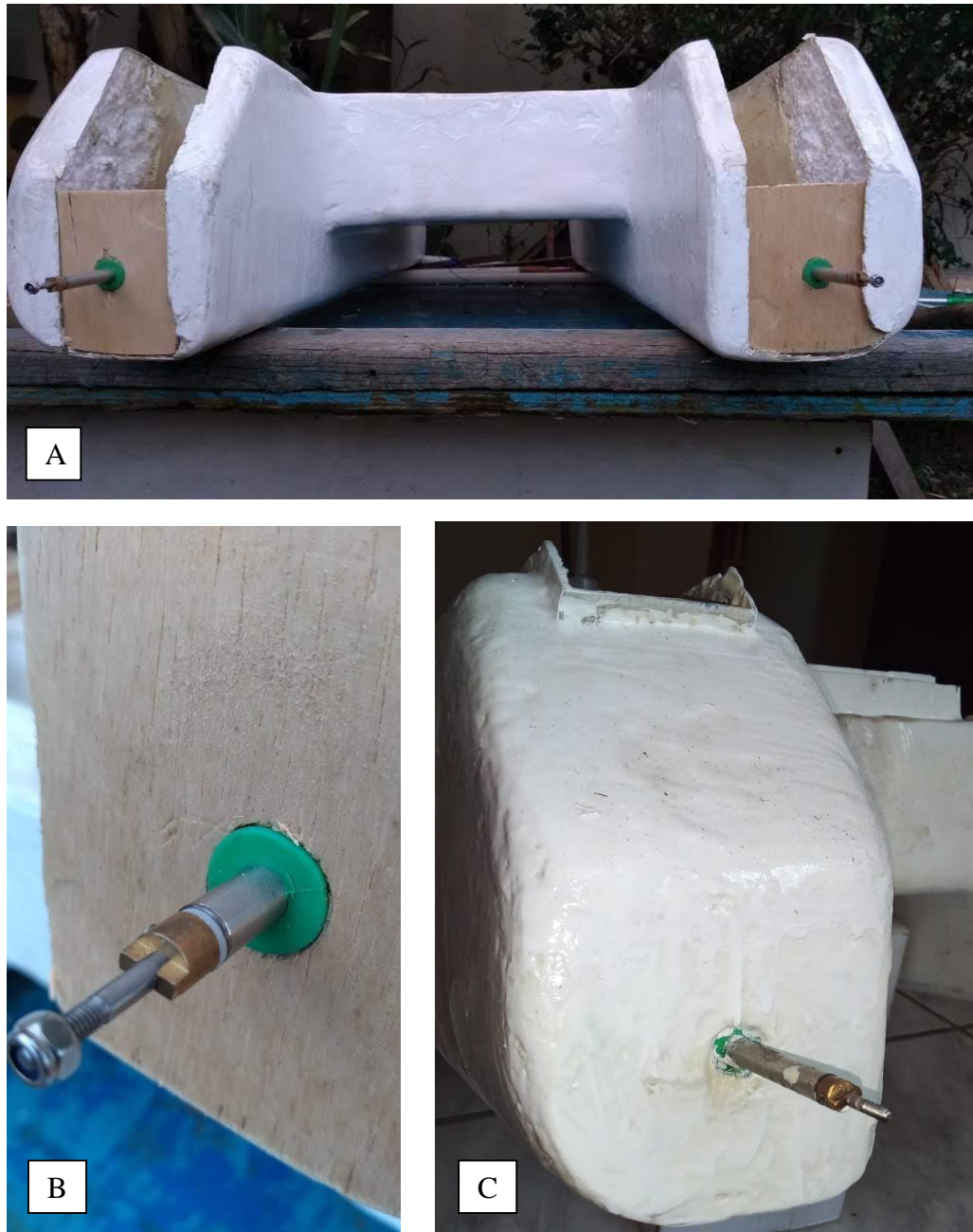


Figura 12: Reforço na popa da embarcação utilizando madeira e fibra de vidro.
Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

4.4. Sistema de navegação

A comunicação entre os controladores dos motores e o receptor do rádio controle foi feita através das entradas digitais da placas prototipagem eletrônica Arduino® Uno R3. O receptor utilizado foi da marca Hobbykings modelo HK-TR6A de 2,4 GHz de 6 canais e o rádio controle de 4 canais com inversão de servo (Figuras 13 e 14).

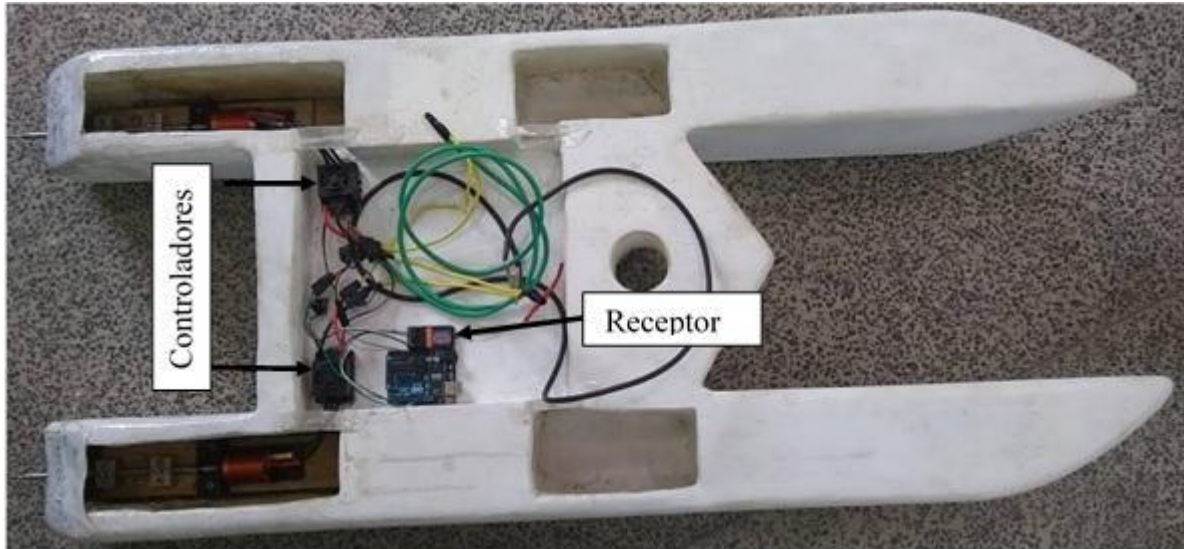


Figura 13: Sistema de controle da propulsão. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

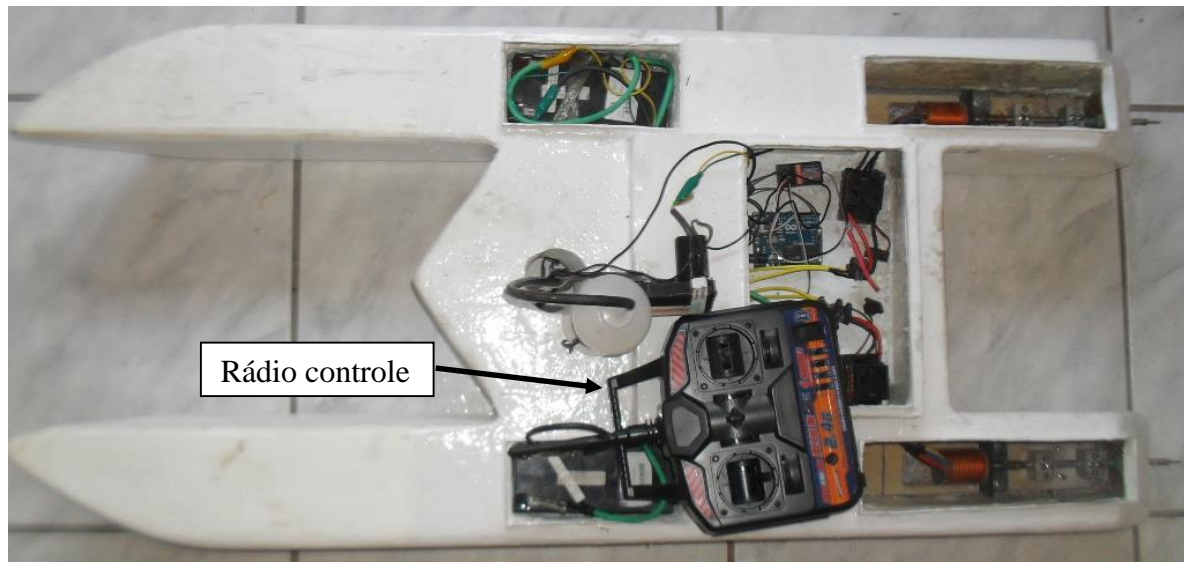


Figura 14: Rádio controle utilizado no sistema de controle da propulsão. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O sistema de alimentação do barco é apresentado na Figura 15, onde é possível observar o controlador de carga que atende toda parte de comando e controle do protótipo e pequenas cargas de potência. A linha de potência do propulsor é proveniente diretamente da bateria para que não ocorra limitação de potência (MARTINS, 2020).



Figura 15: Controlador de carga. Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

4.5. Sistema de aquisição das variáveis de interesse

As medições de pH e temperatura não possibilitam uma avaliação adequada da evolução da qualidade das águas (ANA, 2013). O protótipo contorna esta deficiência ao realizar a coleta da amostra de água e transporte para terra, a fim de que se possa realizar todas as análises complementares em laboratório.

Para a coleta de amostras de água, foi utilizada uma mini bomba de água submersa, alimentada com uma tensão de 5 volts e vazão de 1,5 litros por minuto. Esse método de amostragem é chamado de pesca elétrica, sendo indicado para coleta em ambientes de águas rasas evitando o revolvimento do sedimento do fundo, o que pode alterar as propriedades da água (ANA, 2011).

Um sistema de posicionamento global (GPS) embarcado obtém a localização da coleta em relação ao globo terrestre (em coordenadas geográficas), enquanto o armazenamento dos dados foi realizado com um módulo leitor para cartão micro SD. Os componentes do sistema de aquisição e armazenamento das variáveis podem ser vistos na Figura 16.

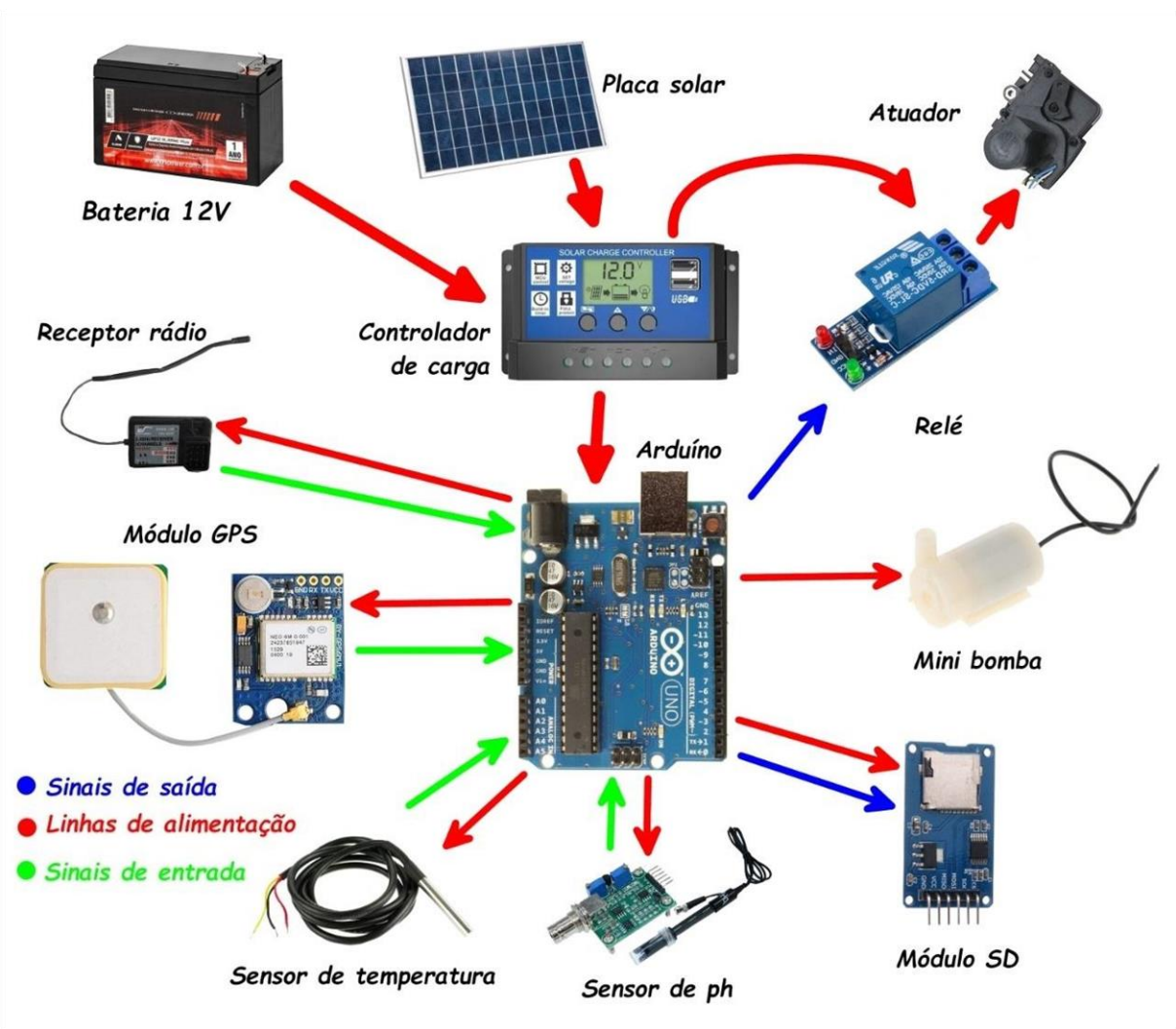


Figura 16: Sistema de aquisição das variáveis de interesse. Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

O desenvolvimento dos algoritmos de monitoramento (**Anexo B**) foi realizado no IDE do Arduino®. O fluxograma lógico da programação desenvolvida pode ser visto na Figura 17.

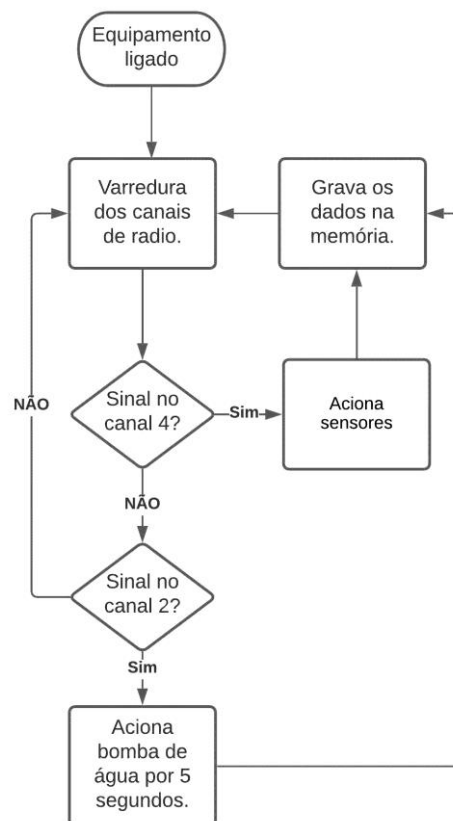


Figura 17: Fluxograma lógico da programação. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

A Figura 18 apresenta as conexões eletrônicas, relé auxiliar, arduinos, sensores e suas interconexões.

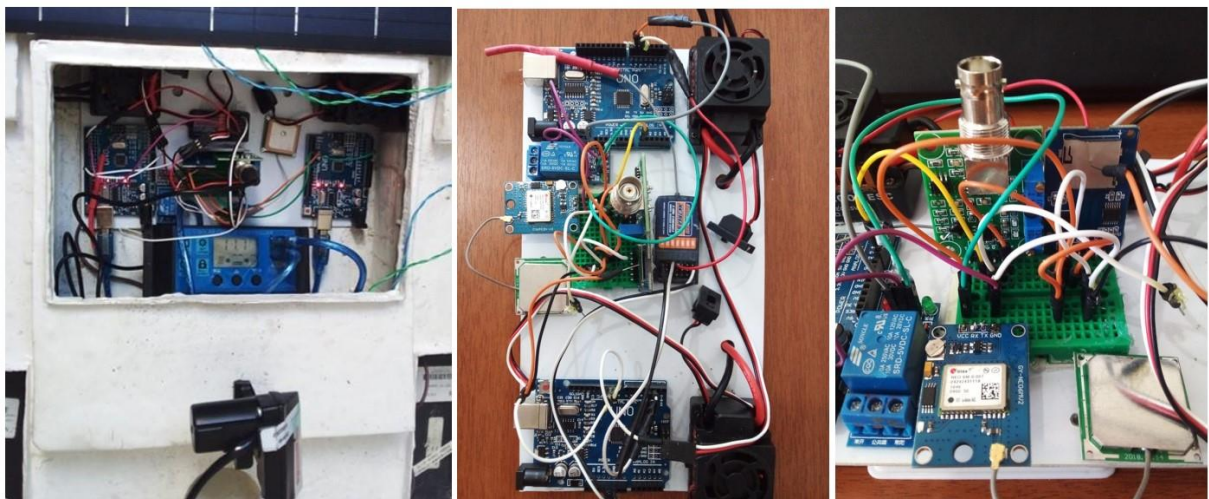


Figura 18: Detalhe do sistema de aquisição e armazenamento das variáveis.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Como o arrasto do sistema de aquisição das variáveis e bomba de coleta de água pode prejudicar a navegação, um motor de passo foi acoplado a uma caixa redutora (guincho), para controle do sistema na água durante a execução da coleta e análises (Figura 19).

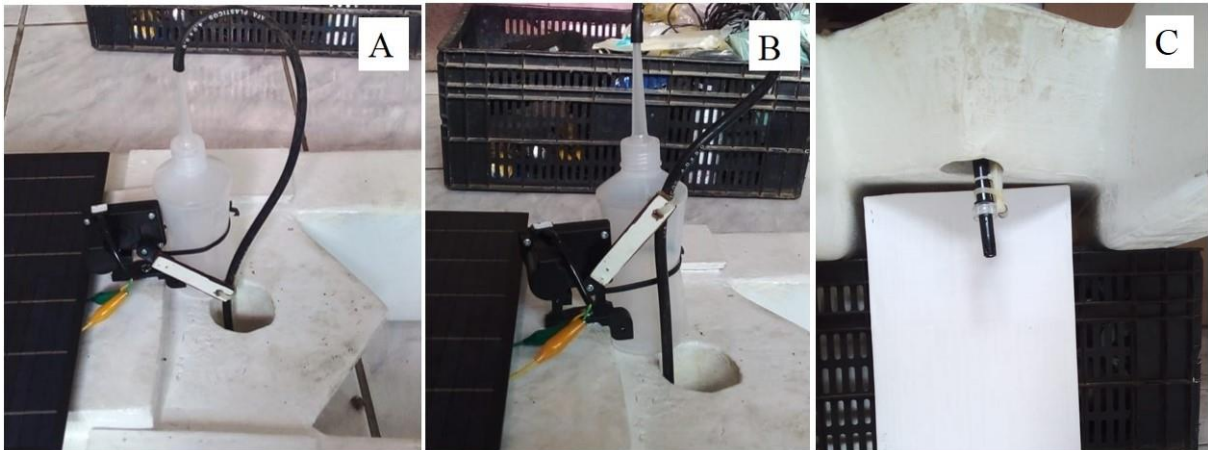


Figura 19: Detalhe do Suporte para erguer os Sensores: A) Abaixado B) erguido C) vista inferior.
 Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Testes em campo foram previstos para pós-montagem. O lago no interior do campus do Instituto Federal Fluminense Campus Cabo Frio foi escolhido como local de testes, onde é possível colocar o barco de forma segura e controlada, para que possam ser avaliadas as questões de fluutuabilidade, possíveis infiltrações em seus flutuadores, ajustes de altura do motor elétrico propulsor e do guincho com os sensores. Após a execução destes testes, o barco foi energizado para realização dos testes de comando, como controle do sistema de propulsão e bomba de coleta, além do sistema de aquisição das variáveis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Custos

Pelo fato do baixo custo do protótipo ser uma das principais justificativas para o presente trabalho, visto que os barcos robô comerciais ou bóias automatizadas possuem custos elevados, foram calculados os custos de aquisição dos materiais no mercado local e pelo mercado eletrônico (compra online; Tabela 1).

Tabela 1 - Planilha com custos de componentes do protótipo em 2020.

Planilha com custos de componentes				
Item	Descrição	Valor Unitário	Quantidade	Valor Total
1	Arduino UNO	R\$ 30	2	R\$ 60
2	Motor	R\$ 350	2	R\$ 700
3	Baterias skate elétrico 12v 9 Ah	R\$ 79	2	R\$ 158
4	Módulo e sensor de pH para Arduino	R\$ 150	1	R\$ 150
5	Eixo com hélice	R\$ 53	2	R\$106
6	Rádio controle com 4 canais	R\$ 270	1	R\$ 270
7	Sensor de temperatura à prova d'água para Arduino	R\$ 28	1	R\$ 28
8	Servo para veleiro	R\$ 85	1	R\$ 85
9	Módulo Cartão Micro SD Card Para Arduino	R\$ 12	1	R\$ 12
10	Bomba d'água Submersível para Arduino	R\$ 30	1	R\$ 30
11	Fibra de vidro e Resina epóxi	R\$ 200	1	R\$200
12	Painel Placa Solar Fotovoltaica 10 W com controlador de carga	R\$190	1	R\$190
13	Compensado naval	R\$ 50	1	R\$ 50
TOTAL				R\$ 2.039

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O custo total do protótipo, de R\$ 2.039,00, é um valor muito baixo quando comparado ao protótipo desenvolvido por Martins (2020) com um custo de R\$ 11.735,00, ou o investimento de aproximadamente R\$ 1,5 milhões para o desenvolvimento do barco robô Iracema realizado pela Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior (Secitece) do

governo estadual do Ceará em parceria com a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e ARMTEC Tecnologia em Robótica. Destaca-se, contudo, que o barco robô Iracema possui sonda multiparamétrica, sonar, ecobatímetro e outros sensores que aumentam o custo do projeto (RODRIGUES, 2017).

A arquitetura utilizada na construção da embarcação planejada neste trabalho possibilita substituir a coleta de variáveis limnológicas por sensores como sonda multiparamétrica, ecobatímetro ou outros sensores que não excedam a capacidade de carga da embarcação, validando o aspecto multiuso da embarcação.

5.2. Teste de campo

Os testes iniciais foram realizados em um pequeno lago no interior do campus do Instituto Federal Fluminense Campus Cabo Frio. Esse corpo d'água possui área aproximada de 300 metros quadrados e profundidade próxima a 1 metro. O sistema de propulsão foi testado acionando os motores individualmente com uma carga de 5 kg no convés da embarcação, o protótipo superou com facilidade as macrófitas aquáticas presentes no lago (Figura 20).

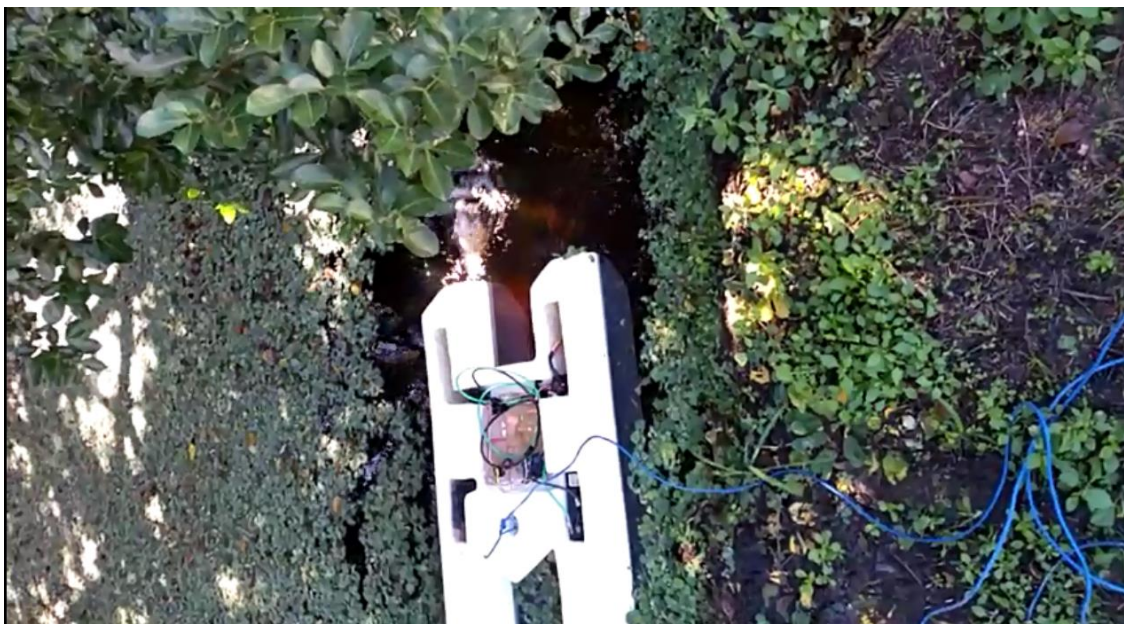


Figura 20: Teste do motor. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

O sistema de navegação foi testado transportando uma carga de 8 Kg e duas baterias, totalizando 10 Kg de carga realizando curvas e navegando em linha reta (Figura 21).



Figura 21: Registro visual das manobras com o protótipo: A) curva à direita B) reta C) curva à esquerda D) linha reta. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Nos testes operacionais no lago do Instituto Federal Fluminense, o transmissor do rádio controle apresentou alcance como o esperado, aproximadamente 500 metros em linha reta, e o sistema de suprimento de energia manteve a embarcação funcionando ao longo de 5 horas de trabalho em ambiente com pouca incidência solar.

5.3. Coleta das amostras de água

Com o barco robô em operação no lago do Instituto Federal Fluminense Campus Cabo Frio, foi possível realizar o procedimento de medição do pH, temperatura da água, além da coleta de amostras de água e localização do ponto de coleta em coordenadas geográficas. A coleta e medições das amostras foram realizadas a 15 centímetros da superfície em um único dia, a intervalos médios de 1 hora, sendo realizado uma coleta por viagem.

Obtivemos um pH de 7,657, a temperatura mínima ambiente no dia foi de 27°C e a máxima de 32°C. Os dados de temperatura obtidos com o sensor instalado no protótipo foram comparados com um termômetro digital para validação, na Figura 22 são apresentados os dados:

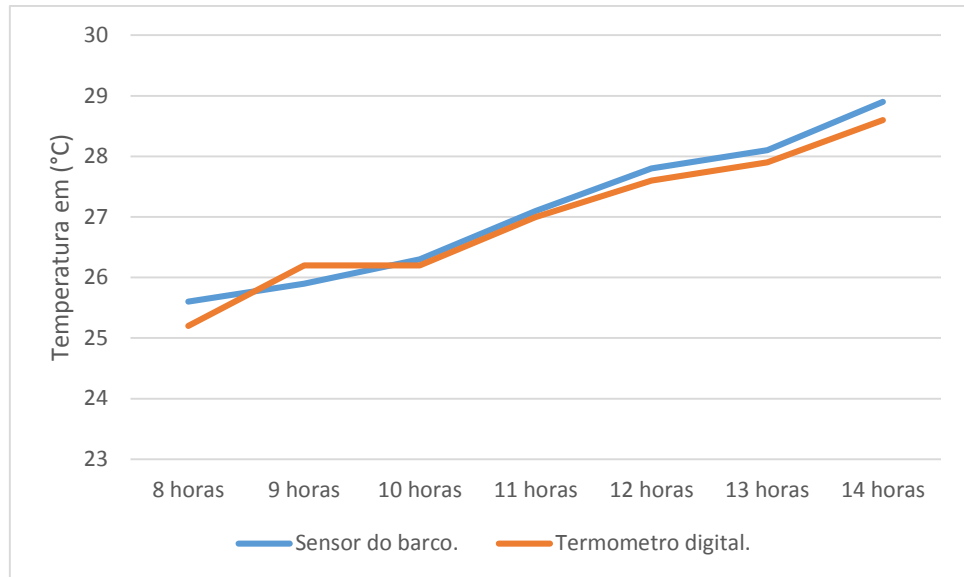


Figura 22: Gráfico comparativo de temperatura da água. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Dando continuidade aos testes do barco robô, foram coletados 250 mililitros de água em reservatório instalado sobre o convés. A amostra foi analisada em laboratório do Instituto Federal Fluminense Campus Macaé com medidor modelo pHmetro DM-2P do fabricante Digimed para comparação das medições realizadas, cujo pH da amostra era de 7,66. A temperatura e a localização da coleta foram comparadas no local usando um termômetro digital, um GPS da marca Mio modelo M300 e uma câmera para registro dos dados (figura 23).

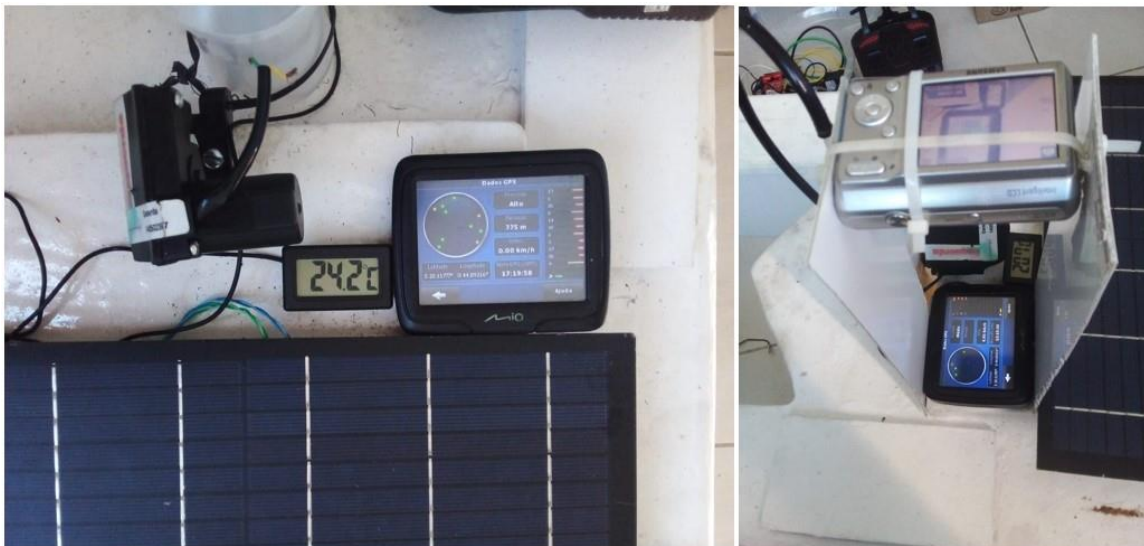


Figura 23: Termômetro digital e GPS usados para validar os sensores do protótipo. Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Os valores obtidos estavam em consonância com os sensores instalados no protótipo, demonstrando a confiabilidade de informações dos sensores de pH, temperatura e GPS

instalados no barco robô, atendendo ao objetivo do projeto que é validar a embarcação para monitoramento ambiental, calibrar e validar os sensores de baixo custo.

6. CONCLUSÃO

O projeto do barco robô foi concluído conforme objetivo geral da proposta ao realizar o projeto, dimensionamento e montagem, além da realização das medições de pH, temperatura, coleta de amostras, armazenamento dos dados coletados em cartão de memória não volátil e validação dos sensores de baixo custo. O sistema de alimentação composto por painéis fotovoltaicos garantiu a autonomia necessária para todos os sistemas do protótipo. Ainda é preciso testar a embarcação em diferentes ambientes a fim de ajustar e aferir os sistemas embarcados, assim como o barco em si, tanto na parte mecânica, elétrica e eletrônica como na parte de coleta das amostras.

O projeto, mesmo com todos os pontos a melhorar elencados anteriormente, mostra-se promissor, além de possibilitar diversos outros avanços em suas aplicações, como a adição de sensores complementares de qualidade de água e a transmissão de dados em tempo real, validando o aspecto multiuso da embarcação. Conclui-se que o projeto tem um baixo custo apresentando um valor estimado próximo a R\$ 2.000,00 e um alto valor agregado em prol do monitoramento ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AN, S.; WANG, B. Interdecadal Change of the Structure of the ENSO Mode and Its Impact on the ENSO Frequency. **Journal of Climate**, v. 13, n. 12, p. 2044–2055, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2044:ICOTSO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2044:ICOTSO>2.0.CO;2)

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas. Brasília – DF, 2011. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>. Acesso em: 20/04/2021.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Monitoramento da qualidade da água em rios e reservatórios. Brasília – DF, 2013. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2227/6/Unidade_6.pdf. Acesso em: 20/04/2021.

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA) e Rede Hidrológica Nacional de Referência (RHNR). 2021. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/fa80c71fdd8f4e1e8f86424f72b3bc52_1/explore?location=-22.788390%2C-42.470556%2C10.00. Acesso em: 20/05/2021.

ARDUINO, Website, Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/pt/language/variables/constants/constants/> Acesso em 28/05/2021.

BAL, B. C. Screw and nail holding properties of plywood panels reinforced with glass fiber fabric. **CERNE** v.23, n 1, p. 11-18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201723012210>

BARNES, R.S.K. **Coastal Lagoons. The neglected history of a neglected habitat**. Cambridge University Press, 1980.106 p. ISBN 0 521 23422 0.

BARBIÈRE, E. B. Flutuações climáticas em Cabo Frio. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 11, p. 95-112, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1997.0011.0008>

BARBOSA, F. A. R. Programa brasileiro para conservação e manejo de águas interiores: síntese das discussões. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 5, n. 1, p. 13-18, 1994. Disponível em < <https://www.ablimno.org.br/publiActa.php?issue=v5n1>>. Acesso em: 02 jan. 2021.

BARROSO, L. V.; FABIANO, F. F. C. Estudo da pesca com artes fixas na Lagoa de Araruama. **Oecologia Brasiliensis**, v. 1, p. 569-585, 1995. Disponível em < <http://www.oads.org.br/livros/26.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

BELART, P.; HABIB, R.; RAPOSO, D.; CLEMENTE, I.; MARTINS, M. V. A.; FRONTALINI, F.; FIGUEIREDO, M. S. L.; LORINI, M.L.; LAUT, L. Dinâmica Sazonal da

Biocenose Foraminiferal Bentônica no Sistema Lagunar Tropical Saquarema (Brasil). **Estuaries and Coasts**, n.42, p. 822–841, 2019.

DOI:<https://doi.org/10.1007/s12237-018-00514-w>

BERTUCCI, T. C. P.; SILVA, E.P.; MARQUES JR. A. N.; NETO C. M. Turismo e urbanização: Os problemas ambientais da lagoa de Araruama – Rio de Janeiro. **Ambiente & Sociedade**, v.19, n.4, São Paulo, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc137111v1942016>

BOHRER, C.B.A.; DANTAS, H.G.R.; CRONEMBERGER, F.M.; VICENS, R.S.; ANDRADE, S.F. Mapeamento da Vegetação e do Uso do solo no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v.60, n.1, p. 1-23, 2009.

<https://doi.org/10.1590/2175-7860200960101>

CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I. C. A. D. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v.27, n.6, p.75 1-754, 2000.

<https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1029/1999GL010502>

CHAVEZ, F. P.; SEVADJIAN, J.; WAHL, C.; FRIEDERICH, J.; FRIEDERICH, G. E. Measurements of pCO₂ and pH from an autonomous surface vehicle in a coastal upwelling system. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 151, p. 137-146, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.01.001>

CORRÊA, W. B.; FONTENELLE T. H. O Parque Estadual Costa do Sol: Contextualização e críticas ao processo de instituição. **Revista Geonorte**, v.3, n.4, p. 1150-1160, 2012.

COE, H.G.; CARVALHO, C.N.; SOUZA, L.O.F.; SOAREA, A. Peculiaridades ecológicas da região de Cabo Frio, RJ. **Revista Tamoiso**, Julho/ Dezembro. Ano IV, v.3, n. 2, 2007.

DANTAS, J. L.; WEISS J. M.G. Revisão da metodologia de dimensionamento de hélices para embarcações fluviais. In: 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, 2015, Manaus – AM. **Anais do 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior**, Manaus, 2015.

DANTAS H. G. R.; LIMA H. C.; BOHRER C. B. A. Mapeamento da vegetação e da paisagem do município de Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia** v.60, n.1, 2009.

DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860200960102>

DUNBABIN, M.; MARQUES, L. Robots for Environmental Monitoring: Significant Advancements and Applications. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v 19, p: 24-39, 2012.

DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2011.2181683>

ESTEVES, F. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 826, 2011.

FERREIRA, Í. O.; AYRES NETO, A.; MONTEIRO, C. S. O Uso De Embarcações Não Tripuladas Em Levantamentos Batimétricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 10, 2016.

Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44290>. Acesso em: 10/05/2021.

FIA, R.; HUGO CÉSAR TADEU, H. C.; MENEZES J. P. C.; FIA F. R. L.; OLIVEIRA L. F. C. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n.1, p. 267 – 275, 2015.
DOI: 10.21168/rbrh.v20n1.p267-275

FONSECA-KRUEL, S. V.; PEIXOTO, A.L. Etnobotânica na Reserva Extrativista Marinha de Arraial do Cabo, RJ, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 177-190, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000100015>

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19 n. 53, p. 167-185, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100011>

GONZAGA S. L., LÍVIA DA SILVA OLIVEIRA L. S., ANDERSON DE OLIVEIRA CASTRO A. O. Real time energy consumption monitoring system using smart meters and arduino platform in residence. **Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications**, v.5, n.19, 2019.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20190058>

GUERRA, L. V. **Processos microbiológicos e composição da matéria orgânica relacionados à eutrofização de uma lagoa costeira hipersalina, L. Araruama**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói - RJ, 2008.

Hirzel T. PWM. **Arduino**, 2021, PWM. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>>. Acesso em: 04/05/2021.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBio. **Plano de manejo da Reserva Extrativista Marinha do Arraial do Cabo**. Brasília – DF, 2020. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/plano-de-manejo/plano_de_manejo_Resex_Marinha_do_Arraial_do_Cabo.pdf>. Acesso em: 10/01/2021.

Instituto Estadual do ambiente do Estado do Rio de Janeiro, INEA. **Localização do Parque Estadual da Costa do Sol**. Rio de Janeiro – RJ, 2018. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/conheca-as-unidades-de-conservacao/parque-estadual-da-costa-do-sol/>>. Acesso em: 15/01/2021.

Instituto Estadual do ambiente do Estado do Rio de Janeiro, INEA. **Como é feito o monitoramento das Águas Interiores**. 2021. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/aragua-e-solo/como-e-feito-o-monitoramento-das-aguas-interiores/>>. Acesso em: 15/05/2021.

Instituto Estadual do ambiente do Estado do Rio de Janeiro, INEA. Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem de qualidade das águas – **Águas Interiores**. Rio de Janeiro – RJ, 2019. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Esta%C3%A7%C3%B5es-de-Monitoramento-Atualiza%C3%A7%C3%A3o-JAN2019-%C3%81guasInteriores.pdf>>. Acesso em: 10/05/2021.

JESÚS J. T. M. B.; MINELLO M., XAVIER F. C. **Um estudo sobre a paisagem acústica de dois fragmentos de restinga da Região dos Lagos/RJ.** *VÉRTICES*, v.21, n.3, 2019.
DOI: 10.19180/1809-2667.v21n32019p495-513

KIM, D.; SHIN, J.; KIM, Hyungjin; KIM, Hanguen; LEE, D.; LEE, S.; MYUNG, H. Development and experimental testing of an autonomous jellyfish detection and removal robot system. **International Journal of Control, Automation and Systems**, v 14, p: 312-322, 2016.
DOI: <https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12555-014-0305-z>

KJERFVE, B.; SCHETTINI, C.A.F.; KNOPPERS, B.; LESSA, G.; FERREIRA, H.O. Hydrology and salt balance in a large hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. **Estuarine Coastal and Shelf Science**. v. 42, p. 701-725, 1996.
DOI: <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0045>

KJERFVE, B. Chapter 1 Coastal Lagoons. **Elsevier Oceanography Series**. v.60, p. 1-8, 1994.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70006-0](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70006-0)

KNOPPERS, B.; KJERFVE; B. E CARMOUZE; J. P. Estado trófico e tempo de recuperação da água em seis lagoas costeiras obstruídas no Brasil. **Biogeochemistry**, v.14, p.149-166, 1991.
DOI: <https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1007/BF00002903>

LESSA D. V. O. **Variabilidade da ressurgência na região de Cabo Frio (RJ) durante os últimos 1000 anos com base na associação de foraminíferos Planctônicos.** Dissertação (mestrado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, 2009.
LITTLE, M. G.; SCHNEIDER, R. R.; KROON, D.; PRICE, B.; BICKERT, T.; WEFER, G. Rapid palaeoceanographic changes in the Benguela Upwelling System for the last 160,000 years as indicated by abundances of planktonic foraminifera. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.130, n.1-4, p.135-161, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00136-8](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00136-8)

LINDENMAYER, D.B., BURNS, E.L., TENNANT, P., DICKMAN, C.R., GREEN, P.T., KEITH, D.A., METCALFE, D.J., RUSSELL-SMITH, J., WARDLE, G.M., WILLIAMS, D., BOSSARD, K., DELACEY, C., HANIGAN, I., BULL, C.M., GILLESPIE, G., HOBBS, R.J., KREBS, C.J., LIKENS, G.E., PORTER, J. AND VARDON, M. Contemplating the future: acting now on longterm monitoring to answer 2050's questions. **Austral Ecology**, v.40, n.3, p. 213–224, 2015.
DOI: <https://doi-org.ez38.periodicos.capes.gov.br/10.1111/aec.12207>

LUNA FILHO G. J. **Previsão da autonomia de baterias de chumbo-ácido aplicadas a sistemas híbridos de geração de energia utilizando o método KiBaM.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2017.

MAHIQUES, M. M.; BICEGO, M. C.; SILVEIRA, I. C. A.; SOUZA, S. H. M.; LOURENÇO, R. A.; FUKUMOTO, M. M. Modern sedimentation in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.77, n.3, p.535-548, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0001-37652005000300013>

MARTINS L. R. **Construção de um protótipo de barco robô de baixo custo para análise de qualidade de água em rios e reservatórios.** Dissertação (Mestrado em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental) - Universidade Federal do Pará, Tucuruí - PA, 2020.

MAROTTA, H.; SANTOS R. O.; ENRICH-PRAST A. Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais. **Ambiente & Sociedade**, v.11, n.1, 2008.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100006>

MCROBERTS, **Arduino Básico.** Novatec Editora Ltda, 2ª edição, 2015. Disponível em: <<https://s3.novatec.com.br/capitulos/capitulo-9788575224045.pdf>> acesso em 20/03/2021.

MELO L. V.; SALES T. B.; SOUZA G. L.; BRANT F. F.; MANICACCI M.; Ampliação do Porto do Forno na Reserva Extrativista Marinha em Arraial do Cabo – RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v.3, n.2, p. 163-186, 2009.

MENDONÇA, A. M. **Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2016.

NAIDU, P. D. Influence of monsoon upwelling on the planktonic foraminifera off Oman during Late Quaternary. **Indian Journal of Marine Systems**, v.36, n.4, p.322-331, 2007.

NASSEH, J. **Manual de Construção de Barcos.** ed.4, Rio de Janeiro, 2011.

NEGREIROS A. P. F. **N-Boat: Projeto e Desenvolvimento de um Veleiro Robótico Autônomo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2019.

OLIVEIRA, A. C. C. **Registro de paleotemperaturas na Plataforma Continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 13.000 anos.** Tese (Doutorado em Geoquímica), Universidade Federal Fluminense/ Departamento de Geoquímica, Niterói - RJ, 2008.

PEREIRA, T. G.; ROCHA, T.B.; FERNANDEZ, G. B. Geomorfologia e Morfodinâmica Costeira da Planície entre Cabo Frio e Arraial do Cabo - RJ. In: I Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 1., 2008 Belo Horizonte-MG. **Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia.** Belo Horizonte, 2008. Disponível em <<http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0154.pdf>> acesso em 10/01/2020.

PIJANOWSKI, B. C. FARINA A.; GAGE H. S.; DUMYAHN S. L.; KRAUSE B. L. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. **Landscape Ecology** v. 26, p.1213–1232, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9600-8>

RIBEIRO, W. C. Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 27, p. 297-321, 2008.

RODRIGUES, A. V. Pioneirismo: Ceará passa a utilizar barco robótico inédito no País para coleta e monitoramento ambiental. **Governo do Estado do Ceará**, 25 ago. 2017. Disponível

em <<https://www.ceara.gov.br/2017/08/25/pioneirismo-ceara-passa-utilizar-barco-robotico-inedito-no-pais-para-coleta-e-monitoramento-ambiental/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

RYNNE, P. F.; ELLENRIEDER K. D. V. Development and preliminary experimental validation of a wind-and solar-powered autonomous surface vehicle. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, vol. 35, no. 4, pp. 971–983, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JOE.2010.2078311>

SAADA. M. **Composição, distribuição espacial, dinâmica de populações de peixes e estatística pesqueira na lagoa hipersalina de Araruama, RJ**. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2003.

SALEME, F. **Interpretação ambiental, aspectos biológicos e educacionais do Parque Estadual da Costa do Sol e da Área de Proteção Ambiental do Pau-Brasil nos limites do município de Cabo Frio – RJ** Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) – Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro / Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro- RJ, 2016

SANTOS J. B.; JABBOUR C. J. C. Adoção da energia solar fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais. **Saúde e Sociedade**, v. 22, n.3, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902013000300026>

SANTOS, F. F. **Utilização de energia fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia**. 2011. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

SCHUINDT R. M. A.; DACO R. S.; OLIVEIRA M.M.; Impactos na lagoa de Araruama e percepção ambiental da comunidade da praia do Sirqueira, Cabo Frio (RJ). **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 13, n 1, p. 299-321, 2018.

Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e desenvolvimento Sustentável (SEMADS). Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses - Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental. **Semads**, 2001. 73 p. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_bacias_ambiental_18875.pdf>. Acesso em: 04/01/2020.

SILVA K. M.; GUIMARÃES T. C. S. M.; WASSERMAN J. C. Distribuição espacial da concentração de nutrientes em sedimentos na Laguna hipersalina de Araruama – RJ, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v.33, n.1, p.16-27, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2019331016>

SILVA L. H. S.; SINDA BEATRIZ VIANNA CARVALHAL, B. V. Biolaminóides Calcários Holocênicos: o Caso da Lagoa Vermelha, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 59 – 70, 2005.

SMITH, R. N.; DAS J.; HEIDARSSON, H.; PEREIRA, A.; CETINIC, I.; DARJANY, L.; M.-E.; GARNEAU, HOWARD, M. D.; OBERG, C.; RAGAN, M.; SCHNETZER, A.; SEUBERT, E.; SMITH, E. C.; STAUFFER, B. A.; TORO-FARMER, G. ; CARON, D. A.; B. H.; SUKHATME, G. S. USC CINAPS Builds Bridges. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, v. 17, n. 1, p. 20-30, 2010.

DOI: <https://doi.org/10.1109/MRA.2010.935795>.

STECCANELLA, L.; BLOISI, D.D.; CASTELLINI, A.; FARINELLI, A. Waterline and obstacle detection in images from low-cost autonomous boats for environmental monitoring. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 124, 2020.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.103346>

TAVARES A. O Impacto das Alterações Climáticas na Saúde. **Acta Médica Portuguesa**, v.31, v.5, p. 241-242, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.20344/amp.10473>

TEIXEIRA1, A. B.; PEREIRA, R. Construção de um equipamento de baixo custo para registro de biopotenciais cardíacos visando à análise da variabilidade da frequência cardíaca. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 10, n. 1, 2019.

DOI: <http://doi.org/10.18571/acbm.194>

VALENTIN, J. L. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). **Marine Biology**, v.82, n.3, p.259-276, 1984.

DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00392407>

WEBB, D. C.; SIMONETTI, P. J.; JONES, C. P. SLOCUM: An Underwater Glider Propelled by Environmental Energy. **IEEE Journal of Oceanic Engineering** v. 26, n.4, 2001.

DOI: <https://doi.org/10.1109/48.972077>

ANEXO A- ALGORITMO DE NAVEGAÇÃO.

```

1 // Controle do Barco Monitor
2 #define ch3 //entrada do ch3, acelerador
3 #define ch1 // entrada do ch1, direção
4 #define motorD 9 //saida do motor direito
5 #define motorE 10 // saída do motor esquerdo
6 void acelDA(); // variavel que carrega o tamanho do pulso a ser enviado para motor direito avante
7 void acelEA(); // variavel que carrega o tamanho do pulso a ser enviado para motor esquerdo avante
8 void acelDR(); // variavel que carrega o tamanho do pulso a ser enviado para motor direito re
9 void acelER(); // variavel que carrega o tamanho do pulso a ser enviado para motor esquerdo re
10 int diviD = 0; // número de divisoes do tamanho do pulso do motor D
11 int diviE = 0; // número de divisoes do tamanho do pulso do motor E
12 int valorch3 = 1500; //define o valor inicial do tamanho do pulso do ch3
13 int valorch1 = 1500; //define o valor inicial do tamanho do pulso do ch1
14 int dirE = 1500;
15 int dirD = 1500;
16 void setup() { //define os pinos de entrada e saída
17 pinMode(ch3, INPUT);
18 pinMode(ch1, INPUT);
19 pinMode(motorD, OUTPUT); //saída para o servo1
20 pinMode(motorE, OUTPUT); //saída para o servo2
21 Serial.begin(9600);
22 }
23 void loop() {
24 valor ch3 = pulseIn(ch3, HIGH, 20000); //aquisicao do sinal do ch3
25 delay (10);
26 valorch1 = pulseIn(ch1, HIGH, 20000); //aquisicao do sinal do ch1
27 delay (10);
28 if(valorch3>1520){
29 acelDR(); //aciona o motor D a re
30 acelER(); //aciona o motor E a re
31 delay (10);
32 }

```

```
33 else{
34 acelDV(); //aciona o motor D a vante
35 aceLEV(); //aciona o motor E a vante
36 delay (10);
37 }
38 Serial.print ("ch3 ");Serial.print (valorch3);Serial.print ("ch1 ");Serial.print (valorch1);
39 Serial.println();Serial.println();Serial.println();
40 delay (100);
41 }
42 //motor direito a vante
43 void acelDV(){
44 digitalWrite(motorD, HIGH); //pulso do servo
45 if (valorch1>1600){
46 if (valorch3+(valorch1-1600)<1520){
47 dirD=valorch3+(valorch1-1600);
48 }
49 else{
50 dirD=1500;
51 delay (10);
52 }
53 delayMicroseconds(dirD);
54 digitalWrite(motorD, LOW); //completa periodo do servo
55 diviD = (20000/dirD);
56 for(int i=0;i<diviD;i++)delayMicroseconds(dirD);
57 delay (10);
58 }
59 else{
60 delayMicroseconds(valorch3);
61 digitalWrite(motorD, LOW); //completa periodo do servo
62 diviD = (20000/valorch3);
63 for(int i=0;i<diviD;i++)delayMicroseconds(valorch3);
64 delay (10);
65 }
70 } //end
```

```
71 // motor direito a vante
72 void acelEV(){
73  digitalWrite(motorE, HIGH); //pulso do servo
74  if (valorch1<1400){
75  if (valorch3+(1400-valorch1)<1520){
76  dirE=valorch3+(1400-valorch1);
77  }
78  else{
79  dirE=1500;
80  delay (10);
81  }
82  delayMicroseconds(dirE);
83  digitalWrite(motorE, LOW); //completa periodo do servo
84  diviE = (20000/dirE);
85  for(int i=0;i<diviE;i++)delayMicroseconds(dirE);
86  delay (10);
87  }
88  else{
89  delayMicroseconds(valorch3-100); //fator de correção para motores ligarem juntos
90  digitalWrite(motorE, LOW); //completa periodo do servo
91  diviE = (20000/valorch3);
100 for(int i=0;i<diviE;i++)delayMicroseconds(valorch3);
101 delay (10);
102 }
103 } //end
104 // motor direito a re
105 void acelDR(){
106 digitalWrite(motorD, HIGH); //pulso do servo
107 if (valorch1>1600){
108 if (valorch3-(valorch1-1600)>1520){
109 dirD=valorch3-(valorch1-1600);
110 }
111 else{
112 dirD=1500;
```



```
113 delay (10);
114 delayMicroseconds(dirD);
115 digitalWrite(motorD, LOW); //completa periodo do servo
116 diviD = (20000/dirD);
117 for(int i=0;i<diviD;i++)delayMicroseconds(dirD);
118 }}
119 else{
120 delayMicroseconds(valorch3);
121 digitalWrite(motorD, LOW); //completa periodo do servo
122 diviD = (20000/valorch3);
123 for(int i=0;i<diviD;i++)delayMicroseconds(valorch3);
124 }
125 } //end
126 // motor esquerda a re
127 void acelER(){
128 if (valorch1<1400){
129 if (valorch3-(valorch1-1400)<1520){
130 dirE=valorch3-(valorch1-1400);
131 }
132 else{
135 dirE=1500;
136 delayMicroseconds(dirE);
137 digitalWrite(motorE, LOW); //completa periodo do servo
138 diviE = (20000/dirE);
139 for(int i=0;i<diviE;i++)delayMicroseconds(dirE);
140 }}
141 else{
142 delayMicroseconds(valorch3);
143 digitalWrite(motorE, LOW); //completa periodo do servo
145 diviE = (20000/valorch3);
146 for(int i=0;i<diviE;i++)delayMicroseconds(valorch3);
148 }
150 } //end
```

ANEXO B – ALGORITMO PARA COLETA DE VARIÁVEIS.

```
1 //Bibliotecas
2 #include <SoftwareSerial.h>
3 #include <TinyGPS.h>
4 #include <SPI.h>
5 #include <SD.h>
6 #include <OneWire.h>
7 #include <DallasTemperature.h>
8 //Pino do sensor de PH
9 #define PH_SENSOR A0
10 //Pinos Rx e Tx do GPS
11 #define RX_GPS 3
12 #define TX_GPS 2
13 //Pino sensor de temperatura
14 #define ONE_WIRE_PIN 4
15 //Pino do canal respectivo ao acionamento da bomba
16 #define CH_RELE 5
17 //Pino no qual será controlado o funcionamento do relé
18 #define PINO_RELE 6
19 //Pino no qual será controlado o funcionamento da bomba
20 #define PINO_BOMBA 7
21 //Variáveis do GPS
22 long latitude, longitude;
23 int ano;
24 byte mes, dia, hora, minuto, segundo;
25 // Variável ph
26 float valor_ph;
27 //Variável temperatura
28 float valor_temperatura;
29 //variável que guarda o valor lido no canal 6
30 int valor_ch_dados = 0;
```

```

31 //variável que guarda o valor lido no canal 5
32 int valor_ch_rele = 0;
33 //Variável que indica se o relé está em nível alto ou não
34 boolean rele_on = false;
35 //Variável que indica o valor limiar para a ativação do relé
36 int limiar = 1900;
37 //===== SENSOR DE TEMPERATURA =====
38 OneWire link(ONE_WIRE_PIN); //Protocolo de comunicação necessário para funcionamento do
sensor de temperatura
39 DallasTemperature sensor(&link);
40 //Objeto para manipulação do sensor de temperatura
41 DeviceAddress endereco = {0x28, 0xFF, 0x63, 0xDE, 0x43, 0x16, 0x03, 0x72};
42 // endereço do sensor de temperatura
43 DallasTemperature sensor_temperatura(&link);
44//Objeto para manipulação do sensor de temperatura
45 DeviceAddress endereco_sensor_temperatura = {0x28, 0xFF, 0x63, 0xDE, 0x43, 0x16, 0x03, 0x72};
46 // endereço do sensor de temperatura
47 //===== DISPOSITIVO GPS=====
48 TinyGPS gps1; //Objeto para manipulação do dispositivo GPS
49 SoftwareSerial serial_GPS(RX_GPS, TX_GPS); // RX e TX para auxiliar o funcionamento do
dispositivo GPS
50 //===== SD CARD =====
51 const int chipSelect = 10;
52 //===== SENSOR PH =====
53 const int m_4 = 821; //pH calibrion - Coeficiente
54 const int m_7 = 712; //pH calibrion - Coeficiente
55 //Protótipos das funções
56 void obter_ph(void);
57 void verificar_canal_rele(void);
58 void obter_temperatura(DeviceAddress endereco);
59 boolean obter_dados_GPS(void);
60 void gravar_dados_sd(void);

```

```
61 /*** Função que lê o sinal provindo do sensor de PH e calcula o nível de PH. ***/
62 void obter_ph() {
63   int measure = 0;
64   int prom = 0;
65   //pH calculation
66   for (int i = 0; i < 20; i++) {
67     measure = analogRead(PH_SENSOR);
68     prom = prom + measure;
69     delay(50);
70   }
71   prom = prom / 20;
72   valor_ph = 7 + ((measure - m_7 ) * 3 / ( m_7 - m_4 ));
73 }
74 /** * Função que lê o sinal provindo do sensor de temperatura e calcula a temperatura referente
ao sinal lido.**/
75 void obter_temperatura(DeviceAddress endereco){
76   sensor_temperatura.requestTemperatures(); //solicita a temperatura de todos os sensores
conectados no barramento
77   float t = sensor_temperatura.getTempC(endereco);
78   if (t == -127.00) {
79     t = sensor_temperatura.getTempC(endereco);
80   }
81   valor_temperatura = t;
82 }
83 /**Função que recupera os valores de geolocalização, data e hora. O método trata os valores
capturados do dispositivo e atualiza o conteúdo das variáveis respectivas ao gps. **/
84 boolean obter_dados_GPS() {
85   bool recebido = false;
86   serial_GPS.listen();
87   while (serial_GPS.available()) {
88     char cIn = serial_GPS.read();
89     recebido = gps1.encode(cIn);
```

```
90 }
91 //Recebeu dados do gps
94 if (recebido)
92{
93 //Latitude and Longitude
94 gps1.get_position(&latitude, &longitude);
95 //Date and time
96 gps1.crack_datetime(&ano, &mes, &dia, &hora, &minuto, &segundo);
97 //faz a conversão de horário
98 //O fuso horário e tals
99 hora -= 3;
100 if (hora < 0) {
101 hora = 24 - abs(hora - 3);
102 }
103 if (hora == 24) hora = 0;
104 }
105 return recebido;
106 }
107 /*** Método que grava os dados obtidos dos sensores e módulos no cartão SD.***/
108 void gravar_dados_sd()
109{
110 File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
111 //Texto a ser gravado no arquivo
112 String dataString = dia + String("/") +
113     mes + String("/") + ano + String(",") + hora +
114     String(":") + minuto + String(":") + segundo + String(",") +
115     (latitude/1000000) + String(",") +
116     (longitude/1000000) + String(",") +
117     valor_ph + String(",") + valor_temperatura;
118     // if the file is available, write to it:
119 if (dataFile)
```

```
120{
121  dataFile.println(dataString);
122  dataFile.close();
123 }
124 // if the file isn't open, pop up an error:
125 else {
126  Serial.println("Erro ao abrir arquivo datalog.txt");
127 }
128 }
129 /*** Método que verifica se o há sinal de habilitação do relé para submergir os componentes na
130 água.**/
130 void verificar_canal_rele()
131 {
132  valor_ch_rele = pulseIn(CH_RELE, HIGH, 25000);
133  Serial.print(valor_ch_rele);
134  if(valor_ch_rele >= limiar && !rele_on)
135  {
136  //Configura estado do relé para ligado
137  rele_on = true;
138  //Ativando relé
139  digitalWrite(PINO_RELE, HIGH);
140  digitalWrite(PINO_BOMBA, HIGH);
141  //Tempo referência verificar ocorrência de 5 segundos.
142  int anterior = millis();
143  delay (5000);
144  //Desligar bomba
145  digitalWrite(PINO_BOMBA, LOW);
146  //Desativando relé
147  digitalWrite(PINO_RELE, LOW);
148  //Reseta estado do relé para desligado
149  rele_on = false;
```

```
150 }
151 }
153 /*** Configuração dos componentes ao ligar o microcontrolador.*/
156 void setup()
154 {
155 //Configuração dos pinos do microcontrolador
156 pinMode(RX_GPS, INPUT);
157 pinMode(TX_GPS, INPUT);
158 pinMode(CH_RELE, INPUT);
159 pinMode(ONE_WIRE_PIN, INPUT);
160 pinMode(PINO_RELE, OUTPUT);
161 pinMode(PINO_BOMBA, OUTPUT);
162 //Debug
163 Serial.begin(9600);
164 //Comunicação serial do GPS - Inicializar com uma taxa de 9600 bps serial_GPS.begin(9600);
165 //inicializa a biblioteca do sensor de temperatura
166 sensor_temperatura.begin();
167 sensor_temperatura.setResolution(10);
168 Serial.println("Inicializando cartão SD...");
169 // verifica se o cartão está ok
170 }
171 /*** * Loop infinito. */
172 void loop() {
173 verificar_canal_rele();
174 delay(500);
175 }
```

ANEXO C – ALGORITMO PARA MENSURAR OS VALORES DO PULSO DOS CANAIS DO RÁDIO CONTROLE.

```
1 int entradaX = 2;
2 int entradaY = 3;
3 unsigned long valorX;
4 unsigned long valorY;
5 unsigned long valorZ;
6 void setup()
7 {
8   pinMode(entradaX, INPUT);
9   pinMode(entradaY, INPUT);
10  Serial.begin(9600);
11 }
12 void loop()
13 {
14   valorX = pulseIn(entradaX, HIGH);
15   Serial.print("Valor lido Acelerador: ");
16   Serial.print(valorX);
17   Serial.print("ms");
18   valorY = pulseIn(entradaY, HIGH);
19   Serial.print(" Valor lido Direção: ");
20   Serial.print(valorY);
21   Serial.println("ms");
22   delay(1000);
23   valorZ = pulseIn(entradaZ, HIGH);
24   Serial.print(" Valor lido Coleta: ");
25   Serial.print(valorZ);
26   Serial.println("ms");
27   delay(1000);
28 }
```