



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO

VINÍCIUS DE ALCÂNTARA CARVALHO

**SISTEMA AUTÔNOMO DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ÁGUAS  
SUPERFICIAIS: Veículo aéreo não tripulado adaptado para análise de  
parâmetros associados à qualidade das águas ambientais.**

Recife  
2024

VINÍCIUS DE ALCÂNTARA CARVALHO

**SISTEMA AUTÔNOMO DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ÁGUAS  
SUPERFICIAIS: Veículo aéreo não tripulado adaptado para análise de  
parâmetros associados à qualidade das águas ambientais.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia de Controle e Automação da  
Universidade Federal de Pernambuco,  
como requisito parcial para obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia de  
Controle e Automação.

Orientador(a): Prof. Dr. Douglas Contente Pimentel Barbosa

Coorientador(a): Prof. Dr. Vagner Bezerra dos Santos

Recife  
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Carvalho, Vinícius de Alcântara.

Sistema autônomo de amostragem e análise de águas superficiais: veículo aéreo não tripulado adaptado para análise de parâmetros associados à qualidade das águas ambientais / Vinícius de Alcântara Carvalho. - Recife, 2024.

76 p. : il., tab.

Orientador(a): Douglas Contente Pimentel Barbosa

Coorientador(a): Vagner Bezerra dos Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Controle e Automação - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices.

1. drone adaptado. 2. monitoramento ambiental. 3. sistema eletrônico de análise. 4. análises eletroquímicas. 5. sistema controlado remotamente. I. Barbosa, Douglas Contente Pimentel. (Orientação). II. Santos, Vagner Bezerra dos. (Coorientação). IV. Título.

600 CDD (22.ed.)

VINÍCIUS DE ALCÂNTARA CARVALHO

**SISTEMA AUTÔNOMO DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE ÁGUAS  
SUPERFICIAIS: Veículo aéreo não tripulado adaptado para análise de  
parâmetros associados à qualidade das águas ambientais.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia de controle e Automação da  
Universidade Federal de Pernambuco,  
como requisito parcial para obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia de  
controle e Automação.

Aprovado em: 08/08/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Douglas Contente Pimentel Barbosa  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Herbert Alberico de Sá Leitão  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Eng. M.Sc. Valdemar Moreira Cavalcante Junior  
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado a Deus, pelo seu imenso amor e auxílio em todas as etapas de minha vida;

Aos meus pais, Sandra Cristina e Edvan José, que são exemplos de afeto, de cuidado e de dedicação;

Ao meu irmão, Victor de Alcântara Carvalho, que é um exemplo de dedicação, superação e entusiasmo;

À minha família como um todo, sem a qual eu não conseguiria chegar até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

Esse trabalho representa a conclusão de uma significativa etapa de minha caminhada na busca por aprimoramento pessoal, profissional e intelectual. Nunca poderei agradecer o suficiente às pessoas que fizeram parte dessa jornada e que foram fundamentais na construção de quem sou.

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus que, por seu imenso amor, concedeu-me o dom da vida, a capacidade de pensar, de agir e de crescer em sabedoria e felicidade.

Também agradeço a Jesus, modelo e guia da humanidade, exemplo de amor genuíno, a que podemos recorrer em todos os momentos.

Expresso minha profunda gratidão à minha mãe e ao meu pai os quais são exemplos de cuidado, de carinho, de dignidade, de bondade e de respeito. Foram eles que me deram, além da vida orgânica, o amor, a ternura, o afeto e a educação fundamentada em valores, sem os quais eu não teria chegado até aqui. Vocês foram aconchego, consolo e escuta nos momentos de dor, nos desafios, nas dúvidas e nas tristezas. Vocês são pilares fundamentais em minha vida, pessoas com quem espero, sempre, compartilhar momentos de felicidade e de carinho. Amo muito vocês!

Agradeço ao meu irmão que é, para mim, um exemplo de superação, de dedicação e de empenho no exercício do aprimoramento contínuo. Meu amigo e cuidadoso irmão mais velho, amo-te muito!

Outrossim, sou grato a minha família como um todo: avós, tios, tias, primos e primas, exemplos de união, afeto e resiliência. Sei que posso contar sempre com vocês, minha fortaleza. Fontes fecundas de aprendizado e inspiração.

De modo algum, poderia deixar de expressar meu profundo reconhecimento a todos meus amigos, que partilharam diversas etapas de minha vida, incentivando e auxiliando meu crescimento como ser humano. Vocês são pessoas incríveis que Deus me proporcionou conhecer.

Também, sou grato ao Professor Doutor Vagner Bezerra dos Santos por ter oportunizado meu ingresso no vasto campo da pesquisa científica. Agradeço por todo suporte, pelos ensinamentos e pela confiança em deixar-me integrar à equipe do Laboratório de Instrumentação e Automação em Analítica Aplicada (LIA<sup>3</sup>). O senhor é

uma inspiração e exemplo de trabalho árduo e dedicação. Também, aproveito o ensejo para agradecer a todos os membros da equipe LIA<sup>3</sup>, pelo acolhimento e pela partilha de conhecimentos.

Por fim, agradeço ao Professor Doutor Douglas Contente Pimentel Barbosa por ter aceitado ser o orientador desse trabalho e pelo amparo na edificação profissional de todos os alunos do DEE. O senhor é exemplo de profissionalismo e do saber compartilhar experiências edificantes para formação de engenheiros e, principalmente, de cidadãos.

"Entre em profundidade no seu propósito de vida. Não permaneça na superficialidade. Vivencie a capacidade de expandir suas potencialidades e qualidades; por fim surpreenda-se com você mesmo!"(Shinyashiki; Eduardo).

## RESUMO

O presente trabalho tem foco no desenvolvimento de uma ferramenta inovadora para monitoramento de águas ambientais. Com esse intento, a presente produção explana a conjuntura dos recursos hídricos nos âmbitos nacional e global, e discorre sobre os usos consuntivos de água, tratamento de efluentes e fatores que constituem risco à manutenção da qualidade dos recursos hídricos. Ademais, o presente trabalho explica de forma pormenorizada as etapas que culminaram na construção de um sistema eletrônico, microcontrolado e acoplado à veículo aéreo não tripulado, para coleta e análise de águas superficiais. Esse sistema é controlado remotamente, tendo como base um servidor WEB que utiliza o protocolo HTTP para comunicação entre cliente e servidor e cuja interface WEB é estruturada em HTML. Dessa forma, tornou-se possível a elaboração de uma ferramenta controlada via WiFi que realiza sucção de alíquotas de água e análise voltamétrica, a partir de um potenciostato portátil integrado ao microcontrolador, cujos dados aferidos de tensão e corrente são enviados a página WEB, a qual pode ser acessada por qualquer dispositivo conectado a mesma rede do microcontrolador. Isso posto, os resultados obtidos no decorrer desse projeto validam a eficiência da ferramenta, além da seletividade do método empregado e da alta sensibilidade para detecção de poluentes, constituindo uma ferramenta autônoma de grande valia para o monitoramento ambiental.

**Palavras-chave:** drone adaptado, monitoramento ambiental, sistema eletrônico de análise, análises eletroquímicas, sistema controlado remotamente.

## ABSTRACT

This work focuses on the development of an innovative tool for monitoring environmental waters. With this objective, this production explains the situation of water resources at national and global levels, in addition to discussing the consumptive uses of water, wastewater treatment and factors that represent a risk to maintaining the quality of water resources. Furthermore, this work explains in detail the stages that culminated in the construction of an electronic, microcontroller-based system coupled on an unmanned aerial vehicle, for collecting and analyzing surface water. This system is remotely controlled, based on a WEB server that uses the HTTP protocol for communication between client and server, and the WEB interface is structured in HTML. Thus, it has become possible to create a Wi-Fi controlled tool that performs water sampling and voltammetric analysis, using a portable potentiostat integrated with the microcontroller. The measured voltage and current data are sent to a WEB page, which can be accessed by any device connected to the same network as the microcontroller. Therefore, the results obtained throughout this project validate the tool's efficiency, as well as the selectivity of the employed method and its high sensitivity for pollutant detection, establishing an autonomous tool of significant value for environmental monitoring.

**Keywords:** adapted drone, environmental monitoring, electronic analysis system, electrochemical analysis, remotely controlled system.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Usos consuntivos de águas no Brasil em 2020.....                                                                                            | 21 |
| Figura 2 – VANT Mavic Air. ....                                                                                                                        | 27 |
| Figura 3 – Funcionamento da bomba de diafragma.....                                                                                                    | 28 |
| Figura 4 – Funcionamento da válvula solenoide de três vias. ....                                                                                       | 30 |
| Figura 5 – EmStat Pico Module.....                                                                                                                     | 30 |
| Figura 6 – Relação entre Camadas do Modelo OSI e da Arquitetura TCP/IP. ....                                                                           | 33 |
| Figura 7 – Varredura de potencial na voltametria cíclica.....                                                                                          | 36 |
| Figura 8 – Voltamograma oriundo de voltametria cíclica.....                                                                                            | 37 |
| Figura 9 – Varredura de potencial na voltametria de pulso diferencial.....                                                                             | 38 |
| Figura 10 – Varredura de potencial na Voltametria de onda quadrada. ....                                                                               | 38 |
| Figura 11 – Representação esquemática do circuito eletrônico de amostragem de águas. ....                                                              | 41 |
| Figura 12 – Circuito eletrônico para coleta de águas superficiais – A: Dimensões do circuito<br>B: Primeira forma de fixação do circuito ao drone..... | 42 |
| Figura 13 – Ensaio para medição da vazão da microbomba d’água. ....                                                                                    | 43 |
| Figura 14 – Interface WEB para o Teste de vazão.....                                                                                                   | 43 |
| Figura 15 – Curvas relativas à análise de vazão da microbomba d’água. ....                                                                             | 44 |
| Figura 16 – Acionamento temporal do sistema de coleta de águas. ....                                                                                   | 46 |
| Figura 17 – Representação esquemática da conexão entre EmStat Pico e conversor CP2102. ....                                                            | 47 |
| Figura 18 – Interface do PSTrace. ....                                                                                                                 | 47 |
| Figura 19 – Voltametria cíclica do Bromacil. ....                                                                                                      | 48 |
| Figura 20 – Conexão entre EmStat Pico e MKR 1010. ....                                                                                                 | 49 |
| Figura 21 – Extração de código MethodSCRIPT via PSTrace. ....                                                                                          | 50 |
| Figura 22 – Representação de eletrodo fabricado inserido em tubo <i>eppendorf</i> . ....                                                               | 51 |
| Figura 23 – Eletrodo impresso fabricado em laboratório.....                                                                                            | 51 |
| Figura 24 – Trecho do código: declaração de variáveis e função setup.....                                                                              | 52 |
| Figura 25 – Páginas WEB geradas. ....                                                                                                                  | 53 |
| Figura 26 – Fixação do sistema de sucção ao drone. ....                                                                                                | 54 |
| Figura 27 – Suporte modelado em 3D. ....                                                                                                               | 55 |
| Figura 28 – Peças projetadas para compor a caixa. ....                                                                                                 | 56 |

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 29 – Suporte impresso e montado. ....                                               | 57 |
| Figura 30 – Acoplamento do suporte impresso ao drone. ....                                 | 57 |
| Figura 31 – Coleta de águas no Lago da UFPE. ....                                          | 58 |
| Figura 32 – Coleta de águas no Reservatório Duas Unas. ....                                | 58 |
| Figura 33 – Voltametria de onda quadrada de 30 ppb de Pb II. ....                          | 59 |
| Figura 34 – Montagem do circuito na peça impressa em 3D e envio de dados via<br>WiFi. .... | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Testes de vazão da microbomba d'água..... | 44 |
|-----------------------------------------------------|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |                                               |
|------|-----------------------------------------------|
| ANA  | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico |
| ARP  | Aeronave Remotamente controlada               |
| CI   | Circuito Integrado                            |
| CV   | <i>Cyclic Voltammetry</i>                     |
| BDD  | <i>Boron Doped Diamond</i>                    |
| DPV  | <i>Differential Pulse Voltammetry</i>         |
| HTTP | <i>Hypertext Transfer Protocol</i>            |
| IDE  | <i>Integrated Development Environment</i>     |
| ISO  | <i>International Standards Organization</i>   |
| OMS  | Organização Mundial de Saúde                  |
| ONU  | Organização das Nações Unidas                 |
| OSI  | <i>Open Systems Interconnection</i>           |
| RPA  | <i>Remotely Piloted Aircraft</i>              |
| SWV  | <i>Square Wave Voltammetry</i>                |
| VANT | Veículo aéreo não tripulado                   |
| WLAN | <i>Wireless Local Area Network</i>            |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                         |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                 | <b>16</b> |
| 1.1      | OBJETIVOS .....                                                                         | 17        |
| 1.1.1    | Geral.....                                                                              | 17        |
| 1.1.2    | Específicos .....                                                                       | 17        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                                      | <b>19</b> |
| 2.1      | PANORAMA NACIONAL E GLOBAL SOBRE RECURSOS HÍDRICOS E QUALIDADE DAS ÁGUAS .....          | 19        |
| 2.1.1    | Conjuntura sobre o acesso a água e saneamento em âmbito global .....                    | 20        |
| 2.1.2    | Contexto dos usos de água e tratamento de efluentes no Brasil .....                     | 21        |
| 2.2      | CATEGORIAS DE ANÁLISES DE QUALIDADE DE ÁGUAS.....                                       | 23        |
| 2.3      | MONITORAMENTO DE POLUENTES EM RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS.....                        | 23        |
| 2.4      | INSTRUMENTAÇÃO OTIMIZADA PARA COLETA E ANÁLISE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS.....               | 25        |
| 2.4.1    | DRONE: terminologias, conceitos e aplicações .....                                      | 25        |
| 2.4.2    | Componentes do sistema de sucção.....                                                   | 27        |
| 2.4.2.1  | <i>Microbomba d'água de diafragma</i> .....                                             | 28        |
| 2.4.2.2  | <i>Válvula solenoide de três vias</i> .....                                             | 29        |
| 2.4.3    | Potenciostato Portátil.....                                                             | 30        |
| 2.4.4    | Microcontroladores e Programação.....                                                   | 31        |
| 2.4.5    | Modelo OSI, Arquitetura TCP/IP e Protocolo HTTP .....                                   | 32        |
| 2.4.6    | Modelagem e impressão de componentes em 3D .....                                        | 34        |
| 2.5      | TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS DE ANÁLISE .....                                                | 35        |
| 2.5.1    | Voltametria cíclica.....                                                                | 36        |
| 2.5.2    | Voltametria de pulso diferencial.....                                                   | 37        |
| 2.5.3    | Voltametria de onda quadrada .....                                                      | 38        |
| <b>3</b> | <b>DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....</b>                                                | <b>40</b> |
| 3.1      | SISTEMA ELETRÔNICO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS.....                               | 40        |
| 3.1.1    | Circuito Desenvolvido .....                                                             | 40        |
| 3.1.2    | Medição de Vazão da microbomba .....                                                    | 42        |
| 3.1.3    | Testes realizados em campo para verificação do funcionamento do sistema de coleta. .... | 45        |
| 3.2      | SISTEMA DE ANÁLISE ELETROQUÍMICA .....                                                  | 46        |
| 3.2.1    | Formas de controle do potenciostato.....                                                | 47        |
| 3.2.2    | Eletrodo impresso fabricado em laboratório .....                                        | 50        |
| 3.3      | SERVIDOR WEB HOSPEDADO NO MICROCONTROLADOR.....                                         | 51        |
| 3.4      | MODELAGEM E IMPRESSÃO DE PEÇAS 3D .....                                                 | 54        |
| 3.5      | APLICAÇÕES DO SISTEMA DE COLETA E ANÁLISE .....                                         | 57        |

|          |                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE .....</b> | <b>60</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                            | <b>61</b> |
|          | <b>APÊNDICES.....</b>                               | <b>64</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para o desenvolvimento social e econômico de qualquer nação. Sendo o acesso à água limpa e ao saneamento um direito humano asseverado pela Resolução A/RES/64/292 promulgada em julho de 2010 pela Assembleia Geral das Nações Unidas (1) . De acordo com Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023, há perspectivas de ampliação de 20% a 30% da demanda global por água até 2050. Contudo, concomitantemente ao crescimento da demanda hídrica, há projeções de expansão da população urbana global em situação de escassez hídrica que poderá afetar entre 1,7 e 2,4 bilhões de pessoas em 2050. Ainda de acordo com o Banco Mundial, a escassez hídrica poderá resultar em custos de até 6% do Produto Interno Bruto de algumas regiões até 2050 (2).

Em contraposição a importância da preservação dos recursos hídricos, encontram-se postos fatores de risco à manutenção da qualidade das águas ambientais em países de baixa, média e alta renda, variando as principais causas, as quais abrangem: insuficiente nível de tratamento de águas residuais, lançamento de produtos químicos perigosos advindos da indústria, efluentes agrícolas e presença de poluentes emergentes a exemplo de produtos farmacêuticos. Essa situação torna-se mais estarrecedora ao analisar-se a estimativa de que, em 2020, cerca de 44% das águas residuais domésticas em âmbito global, não tiveram adequado tratamento antes de serem lançadas no meio ambiente (2).

Tais fatos e projeções tornam evidente a necessidade de monitoramento das águas ambientais, a fim de detectar a presença de contaminantes e tomar medidas assertivas que visem à manutenção da qualidade dos recursos hídricos. Contudo, métodos manuais de captação e análise de águas, além de exporem o analista aos poluentes que possam estar presentes nas amostras, demandam tempo e recursos significativos para averiguação de certas espécies de contaminantes.

Isso posto, o presente trabalho direcionou esforços para o desenvolvimento de uma ferramenta autônoma, acoplada a veículo aéreo não tripulado, para realização de coleta e análise de amostras de águas, com controle do sistema e envio de dados de forma remota, através de uma interface WEB. Dessa forma, elaborou-se uma

instrumentação automatizada, eficiente e célere para captação de amostras e realização de análises eletroquímicas para detecção de poluentes presentes em amostras de água.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Geral**

Desenvolver uma instrumentação analítica empregando veículo aéreo não tripulado adaptado para coleta e análise de águas em regiões de difícil acesso, elaborando um sistema automatizado de sucção de águas e análise em tempo real, com detecção eletroquímica de metais pesados e pesticidas.

### **1.1.2 Específicos**

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta inovadora, automatizada e acoplada a veículo aéreo não tripulado para coleta e análise de águas superficiais. A fim de alcançar esse propósito, foram estabelecidos os objetivos específicos:

- Projetar e construir um circuito eletrônico, utilizando microcontrolador, para sucção de águas superficiais;
- Produzir eletrodo impresso miniaturizado para detecção eletroquímica de poluentes;
- Integrar sistema de coleta com sistema de análise eletroquímica;
- Desenvolver algoritmo para controle da ferramenta a partir de um servidor WEB;
- Modelar e imprimir estruturas em 3D para acoplar o *hardware* ao VANT;
- Validar a coleta de águas com a ferramenta proposta;

- Validar a detecção voltamétrica de poluentes a exemplo de metais pesados como Chumbo.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo discorreu sobre a situação dos recursos hídricos nos âmbitos nacional e internacional, além de explanar o uso das águas no cenário nacional, bem como os parâmetros de qualidade e os métodos de amostragem e análise.

Com base nesses aspectos, pretende-se aclarar a necessidade de ferramentas de análise ambiental, e os benefícios que a instrumentação proposta no presente trabalho pode trazer para avaliação e manutenção da qualidade das águas superficiais.

### **2.1 Panorama nacional e global sobre recursos hídricos e qualidade das águas**

A água é um recurso fundamental no que tange ao desenvolvimento econômico e social de qualquer nação. Pode-se asseverar que, com base na Resolução A/RES/64/292, promulgada em julho de 2010 pela Assembleia Geral das Nações Unidas, a água limpa e segura e o saneamento são um direito humano essencial para poder usufruir da vida bem como dos demais direitos Humanos (1).

Contudo, de acordo com estudos da ONU, metade da população global não tem acesso à água potável e a serviços de saneamento e higiene (3). Essa realidade torna-se mais alarmante ao considerar-se que 69% de todas as mortes decorrentes de diarreia no ano de 2019 foram consequência da falta de acesso a tais serviços, totalizando mais de um milhão de mortes conforme apresenta a pesquisa “Carga de Doenças Atribuídas a Más Condições de Água, Saneamento e Higiene” (4). Ainda se estima que o impacto da falta desses serviços seja maior, pois acarreta, além de doenças, prejuízos ao bem-estar social e mental. Por fim, de acordo com a OMS, a reversão desse cenário de privação dos serviços básicos de água poderia salvar cerca de 1,4 milhão de vidas (4).

### **2.1.1 Conjuntura sobre o acesso a água e saneamento em âmbito global**

De acordo com o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídrico 2023, houve um aumento anual no uso da água de cerca de 1% nos últimos 40 anos. Esse crescimento decorreu de fatores relacionados ao crescimento populacional, às mudanças nos padrões de consumo e ao desenvolvimento socioeconômico das nações. Perspectivas futuras apontam para a manutenção do cenário de expansão da demanda hídrica, podendo atingir um aumento de 20% a 30% até o ano de 2050 (2).

Essa conjuntura se torna mais estarrecedora ao avaliar-se que, em 2010, entre 2,2 bilhões e 3,2 bilhões de indivíduos estavam submetidos a condições de estresse hídrico durante pelo menos um mês ao ano. No que tange à população urbana global, há projeções de crescimento da quantidade de habitantes em situação de escassez hídrica, que poderá saltar de 933 milhões de pessoas em 2016, para a faixa de 1,7 a 2,4 bilhões de pessoas em 2050 (2).

Em consonância com essas estatísticas, outro aspecto que se evidencia é a manutenção da qualidade das águas ao redor do Planeta. Ainda de acordo com o Relatório das Nações Unidas sobre Recursos Hídricos 2023, os riscos relacionados à qualidade das águas encontram-se postos em países de baixa, média e alta renda, mas as causas variam em torno da situação econômica. Em países de baixa renda, a insuficiência de tratamentos de águas residuais é, frequentemente, a causa da má qualidade das águas ambientais. Enquanto, em países de renda alta, os efluentes da agricultura compõem relevante aspecto para essa contaminação. Ademais, o lançamento de produtos químicos industriais ainda pode ser notado em todos os continentes, e os poluentes emergentes, a exemplo de produtos farmacêuticos, também estão compondo outra fonte crescente de preocupação.

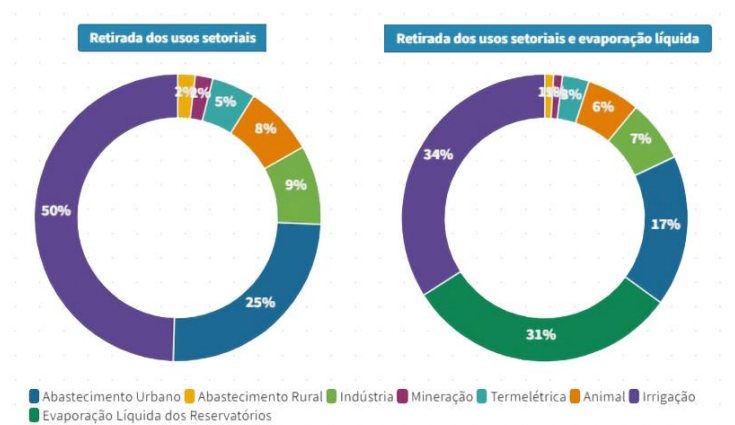
Outrossim, no que se refere a meta 6.3 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que versa sobre a qualidade de águas e águas residuais pode-se inferir a precariedade do tratamento de efluentes domésticos, tendo em vista que, em 2020, cerca de 44% das águas residuais domésticas não receberam tratamento adequado antes de serem despejadas no meio ambiente, conforme exposto no relatório supracitado.

Todas as estatísticas vigentes corroboram a necessidade imediata de melhoramento na eficiência do uso dos recursos hídricos, bem como a preservação e manutenção da qualidade das águas ambientais, como requisitos necessários para assegurar o direito a esse recurso para as atuais e futuras gerações.

### 2.1.2 Contexto dos usos de água e tratamento de efluentes no Brasil

De acordo com o relatório pleno “Conjuntura dos Recursos Hídricos Brasil 2021”, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, os principais usos consuntivos setoriais de água, que dizem respeito às atividades que consomem recursos hídricos, são a irrigação, o abastecimento humano, a indústria, a geração termelétrica, a mineração e o abastecimento animal. Ademais, existem os usos não consuntivos, aqueles que não consomem diretamente água a exemplo de atividades de lazer, navegação, pesca, entre outros. Os usos setoriais dos recursos hídricos nacionais podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 – Usos consuntivos de águas no Brasil em 2020.



Fonte: (5).

Ainda de acordo com o relatório supracitado, a irrigação é o maior uso consuntivo de água nos âmbitos nacional e global. No Brasil, cerca de 8,5 milhões de hectares de terra são equipados para irrigação, que diz respeito à prática agrícola que tem por objetivo suprir a demanda de água para abastecimento da agricultura, servindo como

suplementação ao regime de chuvas, o que torna possível o cultivo agrícola em regiões de escassez hídrica. Esse setor teve expressivo incremento nas retiradas de água nos últimos vinte anos, passando de 640 m<sup>3</sup>/s para 965 m<sup>3</sup>/s; valendo frisar que, em 2020, a irrigação foi responsável por 50% das retiradas totais por usos consuntivos (5).

O segundo maior uso consuntivo de água no Brasil diz respeito ao abastecimento urbano, que foi responsável por um quarto das retiradas totais em 2020. Vale salientar que, em relação ao total da população urbana, 85% têm como fonte predominante ou exclusiva de abastecimento os mananciais superficiais, e os 15% restantes dependem principalmente das águas oriundas de mananciais subterrâneos, conforme apresentado no relatório da ANA. Dessa forma, torna-se imprescindível a avaliação da qualidade das águas superficiais, haja vista constituírem o principal manancial para abastecimento urbano.

Em contraposição à manutenção da qualidade das águas, existem fatores propiciadores da poluição desse recurso, como a falta de acesso ao tratamento de esgotos, que atinge mais da metade da população brasileira. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, cerca de 53,2% da população era suprida pela coleta de esgoto e apenas 46,3% tinham acesso ao tratamento de esgoto em 2018 (6). Ainda de acordo com o Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas do ano de 2017, aferia-se que 38,6% dos esgotos no Brasil não fossem coletados nem tratados. Ademais, naquele ano, foi contabilizado que 18,8% do esgoto era coletado, todavia não era tratado, sendo apenas lançado em corpos hídricos, situação que, evidentemente, pode ocasionar a contaminação desses mananciais e provocar danos à biota local.

Posto isso, fica comprovada a necessidade de averiguação da qualidade das águas ambientais mediante realização de análises dos parâmetros de potabilidade de corpos hídricos, além de ficar evidente a indispensabilidade do tratamento efetivo dos efluentes para preservação dos recursos hídricos.

## **2.2 Categorias de análises de qualidade de águas**

Vale ressaltar que a água, conforme exposto anteriormente, tem diversas aplicações, dentre as quais pode-se observar: abastecimento humano e de animais, usos agrícolas, usos industriais, recreativos, entre outras. Posto isso, faz-se mister o monitoramento da qualidade das águas, a fim de analisar propriedades, características, parâmetros físico-químicos, presença de contaminantes biológicos e poluentes emergentes que possam trazer riscos à saúde quando acima dos limites determinados.

Dessarte, o processo de monitoramento da água engloba três áreas: análises, químicas, análises físicas e análises biológicas. As propriedades físicas da água dizem respeito a parâmetros como: turbidez, cor, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, odor e sabor. Já os testes microbiológicos destinam-se à detecção de microrganismo patogênicos a exemplo de coliformes, que são patógenos intestinais cuja presença em corpos hídricos pode indicar contaminação por fezes humanas ou animais, além da presença de esgoto. Esses patógenos podem ocasionar doenças como: febre tifoide, diarreia e infecções. Por fim, análises químicas, que averiguam parâmetros como pH, dureza, presença de compostos tóxicos e metais (7). Sendo essa última categoria o foco de análise do presente trabalho, com ênfase em detecção de metais pesados como Chumbo, que pode causar envenenamento crônico, afetando o sistema nervoso central (7).

## **2.3 Monitoramento de poluentes em recursos hídricos Brasileiros**

A contaminação de recursos hídricos por metais potencialmente tóxicos é uma causa de apreensão em decorrência da possibilidade de bioacumulação e da baixa taxa de degradação, fatores que contribuem para o aumento de suas concentrações em ambientes aquáticos (8). Estudos realizados nas bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço, envolvendo a coleta e análise de águas superficiais e sedimentos revelaram a presença de metais, sendo relevante enfatizar a alta frequência de chumbo e cromo detectada em amostras de sedimento, tendo alguns resultados acima dos limites considerados seguros em termos de toxicidade para a biota existente nos sedimentos.

O chumbo foi encontrado acima do limite de toxicidade em 16,7% das amostras analisadas, valendo ressaltar que as causas mais prováveis para as concentrações elevadas deste metal pesado, em certas regiões analisadas, podem ser o escoamento superficial urbano e o uso de fertilizantes (8).

Contudo, o método de averiguação de contaminantes relatado neste estudo envolveu etapas de coleta manual de águas superficiais e de sedimentos e posterior armazenamento das alíquotas sob refrigeração em laboratório. Em campo, somente parâmetros físico-químicos como: pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido puderam ser examinados; já a análise de concentração de metais como: Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) nas amostras de água e nos sedimentos foram realizadas por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado e por espectrometria de absorção atômica com atomização em chama (8). Apesar de serem métodos precisos e reconhecidos para análises, demandam recursos significativos, haja vista o elevado valor desses instrumentos, além de serem equipamentos de bancada, o que dificulta a realização de análises em campo e aumenta o tempo para averiguação desses contaminantes.

Ainda no que tange a contaminação de ambientes aquáticos, um estudo divulgado pelo Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, fez uso do método de análise por injeção sequencial com detecção por voltametria de redissolução anódica por onda quadrada, para detecção de As(III) em alíquotas de água (9).

Vale ressaltar que o arsênio pode ser encontrado em ambientes aquáticos nas formas oxidadas +3 e +5, sendo o estado trivalente de oxidação o mais tóxico entre os dois, ademais compostos de arsênio tem efeitos carcinogênicos. Esse estudo aponta que a contaminação por esses compostos pode resultar em doenças cardiovasculares, em câncer de pulmão e em doenças de pele e bexiga (9). Dessa forma, tal estudo ratificou a eficiência do uso de métodos eletroquímicos de análise para detecção de poluentes ambientais, o que serve de embasamento para as aplicações realizadas no presente trabalho.

## 2.4 Instrumentação otimizada para coleta e análise de águas superficiais

Nesse contexto de aplicações voltadas à análise de águas ambientais, o presente trabalho direcionou esforços para concepção de uma instrumentação inovadora, acoplada a veículo aéreo não tripulado, para realizar a coleta de alíquotas de águas e, ainda em tempo de voo, executar análises eletroquímicas das amostras. Todo esse aparato foi projetado para ser controlado remotamente e permitir o envio de dados em tempo real, através de um servidor *WEB*. Para tanto, alguns componentes desse sistema devem ter suas definições, propriedades e meios de funcionamento explanados mais profundamente.

### 2.4.1 *DRONE: terminologias, conceitos e aplicações*

O termo “drone” é utilizado de forma genérica para designar aeronaves não tripuladas, que podem abranger diversas aplicações. Entretanto, há denominações diferentes para descrever essas aeronaves quanto a seus usos e a forma de controle. De acordo com a Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10, o termo “veículo aéreo não tripulado” (VANT) engloba as aeronaves projetadas para operar sem piloto embarcado, sendo de uso não-recreativo e possuindo carga útil embarcada. Dessa maneira, nem todo drone pode ser considerado um VANT, haja vista que aeronaves não tripuladas utilizadas para fins de lazer, *hobby* ou esporte são regidos pela legislação concernente a aeromodelos e não a VANTs (10).

Adicionalmente, faz-se necessária uma subdivisão da categoria VANT em dois tipos de aeronaves. A subcategoria RPA (*Remotely-Piloted Aircraft*), a qual diz respeito às aeronaves sem pilotos embarcados, mas que podem ser controladas remotamente através de computadores, controles remotos ou quaisquer outras interfaces. A outra subcategoria refere-se às aeronaves autônomas, que são aquelas que, após serem programadas, não admitem intervenções externas durante o voo. Essa última subcategoria tem seu uso proibido em território nacional (10).

Os drones ainda podem ser classificados de acordo com as características de suas asas em dois tipos: asa rotativa e asa fixa. Os drones de asa rotativa apresentam rotores o que possibilita uma decolagem e pouso verticais, além de maior facilidade

para operação. Já os drones de asas fixas, cujas estruturas assemelham-se às asas de um avião apresentam maior velocidade de voo, modo de ascensão e pouso horizontal, maior autonomia de bateria, mas também são acompanhados de maiores dificuldades para pilotagem manual (11).

O drone do tipo multirrotor é uma classe de VANT que apresenta tamanhos compactos, facilidade de operação e menores custos operacionais. Vale ressaltar que os drones multirrotor têm diferentes designações em função da quantidade de hélices presentes neles, podendo ser classificados em tricópteros, quadricópteros, hexacópteros e octocópteros. Há relatos de aplicações desses octocópteros em diversos cenários desde aerofotogrametria até para dispersão de pesticidas na agricultura. Dos modelos de multirrotor, os quadricópteros são os mais populares em virtude de sua estabilidade e facilidade de compreensão (12).

Ainda no que tange à difusão do uso de drones para análises ambientais, um estudo realizado na área do Açude Grande no município de Cajazeiras na Paraíba relatou o uso do método de fotogrametria com uso de imagens captadas através de câmeras acopladas a drone para avaliação de impactos ambientais na região. Tendo sido possível detectar que uma parte do esgoto da cidade de Cajazeiras estava sendo lançada de forma irregular nesse corpo hídrico, o que constitui uma causa de poluição desse manancial (13). Dessa forma, pode-se notar que veículos aéreos não tripulados estão constituindo ferramentas que podem auxiliar no estudo, no monitoramento e na preservação dos recursos hídricos naturais.

Em virtude de suas especificações técnicas, foi escolhido o modelo Mavic Air da DJI para o acoplamento do sistema de coleta e análises. Trata-se de um veículo aéreo não tripulado, do tipo quadricóptero controlado remotamente, conforme mostrado na Figura 2.

O Mavic Air é um quadricóptero com três modos de voo, dois dos quais (modo esportivo e modo posicionamento) podem ser selecionados pelo usuário, enquanto o terceiro modo é acionado automaticamente em certas circunstâncias adversas, a exemplo de fraco sinal do GPS, bússola com interferência, entre outros. O Mavic Air conta com sensores que auxiliam o VANT a perceber e desviar de obstáculos. Por fim, o Mavic Air conta com outras especificações técnicas que o tornam eficiente para realização dessas amostragens autônomas, a exemplo de tamanho e peso

reduzidos: 168×184×64 mm e 430 g. Ademais, esse VANT pode atingir a velocidade máxima, no modo esportivo, igual a 68,4 km/h, além das velocidades máximas de ascensão e descensão respectivamente iguais a 4 km/h e 3 km/h, ambas no modo esportivo. O Mavic air, também é equipado com estabilizador em três eixos (inclinação, giro e rotação). Esse VANT opera com bateria de capacidade 2375 mAh, cuja massa líquida é de 140 g, que lhe confere 21 minutos de tempo de voo (14). Todas essas características possibilitam acoplamento do sistema eletrônico nessa aeronave comercial de baixo custo, possibilitando aplicações em campo.

Figura 2 – VANT Mavic Air.



Fonte: (14).

#### **2.4.2 Componentes do sistema de sucção**

Haja vista que o presente trabalho visa acoplar o sistema de coleta e análises eletroquímicas ao VANT, o qual deve pairar sobre o corpo hídrico durante o processo de amostragem, torna-se imprescindível a construção de um sistema de sucção de águas utilizando microbomba d'água e válvula solenoide para bombeamento das alíquotas e direcionamento do fluxo de águas para os frascos nos quais as amostras são armazenadas. Dessa forma, faz-se necessária uma descrição detalhada das características desses instrumentos, bem como de seus princípios de funcionamento.

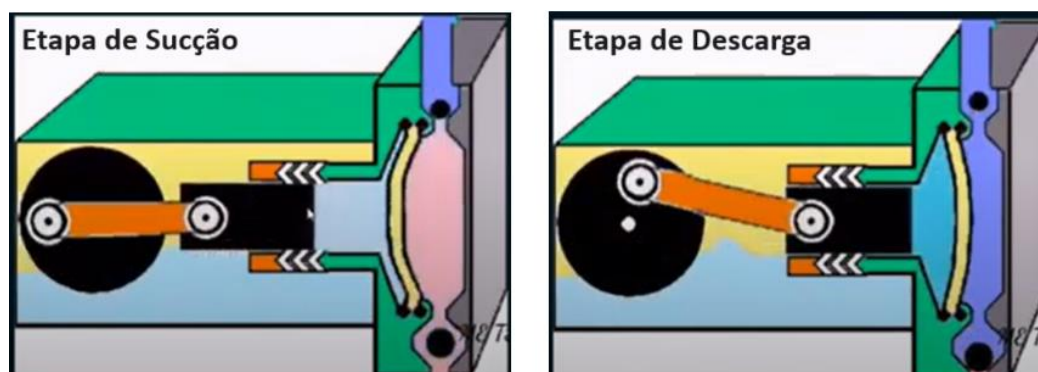
### 2.4.2.1 Microbomba d'água de diafragma

Bombas de diafragma são equipamentos que realizam a circulação de fluidos dispensando o contato direto entre as partes móveis, como pistões e êmbolos, com o líquido bombeado, os quais permanecem separados por meio de uma membrana flexível denominada diafragma.

O princípio de funcionamento das bombas elétricas de diafragma baseia-se na diferença de pressão proveniente da movimentação do diafragma por meio de um sistema de virabrequim, bem como na abertura de válvulas, do tipo esfera, para sucção e descarga (15). Essa membrana flexível desloca-se em movimentos contínuos de retração e expansão. Durante a retração do diafragma há um aumento do volume da câmara de bombeamento e, por conseguinte, uma diminuição da pressão no interior deste compartimento, provocando a abertura da válvula de sucção e o fechamento da válvula de descarga. Em decorrência desses fatos ocorre a admissão de fluido para o interior da câmara de bombeamento (16).

Na segunda etapa do ciclo, há uma expansão da membrana resultando em efeitos opostos aos ocorridos na etapa de retração. Nesse segundo momento, em decorrência da expansão do diafragma, há uma compressão do fluido na câmara de bombeamento, provocando a abertura da válvula de descarga e impulsionando o fluido para fora do compartimento (16). Para melhor elucidar o funcionamento da bomba de diafragma, o ciclo de sucção e descarga está apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Funcionamento da bomba de diafragma



Fonte: Adaptado de (17).

Essa categoria de bombas tem aplicações para bombeamento de tinta, transferência de compostos químicos, fabricação de papelão e de baterias, além de bombeamento de águas residuais da indústria e da construção. A escolha desse tipo de bomba decorreu de suas características de permitir funcionamento a seco, em caso de falta de fluido, além de possibilitar o transporte de líquidos em diferentes temperaturas e com sólidos em suspensão (15), os quais podem estar presentes em águas ambientais.

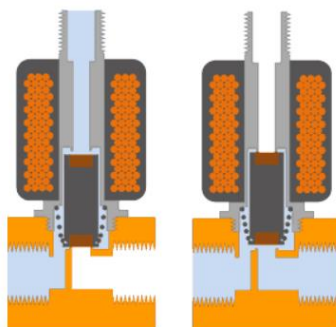
#### *2.4.2.2 Válvula solenoide de três vias*

Válvulas solenoides são dispositivos eletromecânicos compostos por um êmbolo feito de material ferromagnético e por uma bobina elétrica que envolve esse pistão. Esse dispositivo pode ter várias configurações que variam de acordo com o número de entradas e saídas e de posições possíveis (18).

Para a presente aplicação lançou-se mão de uma válvula solenoide 3/2 de operação direta, isto significa, um dispositivo com três vias e dois estados posicionais que são comutados mediante energização da bobina elétrica. O funcionamento desse dispositivo baseia-se na utilização de uma mola que mantém o êmbolo fixo em determinada posição enquanto a válvula estiver desenergizada; nessa etapa, dois compartimentos ficam conectados entre si, e a terceira via fica isolada, permitindo a passagem do fluido numa direção. Todavia, ao energizar-se a bobina, surgirá um campo magnético no interior do enrolamento, ocasionando a movimentação do núcleo ferromagnético em direção ao centro da bobina, fazendo a comutação do caminho percorrido pelo fluido (18). Tal efeito pode ser explicado por meio da lei de Ampère, segundo a qual um fio condutor ao ser percorrido por corrente elétrica gera em torno de si um campo magnético, cujo sentido das linhas de campo pode ser determinado pela regra da mão direita (19).

Para ilustrar o funcionamento da válvula solenoide de três via, na Figura 4 é exibido o posicionamento do êmbolo antes e após energização da bobina, explicitando a mudança de sentido do fluxo.

Figura 4 – Funcionamento da válvula solenoide de três vias.



Fonte: (18).

### 2.4.3 Potenciostato Portátil

Para realizar as análises eletroquímicas, utilizou-se o potenciostato portátil de canal duplo “EmStat Pico Module”, apresentado na Figura 5, de produção conjunta das empresas PalmSens e Analog Devices. Trata-se do menor potenciostato disponível em mercado, com dimensões de 18 mm de largura por 30 mm de comprimento por 2,6 mm de espessura. Este dispositivo autônomo permite a realização de análises eletroquímicas a partir da aplicação de diversas técnicas, tais como: Voltametria de varredura linear, voltametria de onda quadrada, voltametria de pulso diferencial, voltametria cíclica, cronoamperometria, entre outras (20).

Figura 5 – EmStat Pico Module.



Fonte: (20).

Outro ponto importante acerca desse potenciostato é a possibilidade de sua integração com *softwares* desenvolvidos para microcontroladores. Esse instrumento pode ser controlado através da Linguagem MethodSCRIPT, que permite definir qual das técnicas eletroquímicas suportadas será executada por ele. É possível

implementar a comunicação serial entre o potenciostato e o microcontrolador utilizando a integração de trechos de código em MethodScript com algoritmos desenvolvidos em C, em Arduino, entre outras linguagens de programação. Por fim, é possível extrair trechos do código MethodScript com as definições de parâmetros das técnicas eletroquímicas a serem aplicadas através do aplicativo PStrace da PalmSens, compatível com Windows (21).

Estudos já relataram o uso de instrumentos desenvolvidos pela PalmSens para detecção e determinação, por Voltametria de Redissolução Anódica por Onda Quadrada, de As(III) em amostras de água, conforme já explanado anteriormente (9). O que valida e confere confiabilidade ao uso de potenciostatos da PalmSens para análises ambientais.

#### **2.4.4 Microcontroladores e Programação**

Microcontroladores são dispositivos usados para controle e automatização de equipamentos e sistemas, eles abarcam componentes de processamento (CPU), memórias: RAM e EEPROM, interfaces de comunicação, além de terminais de entrada e saída, e circuito de oscilador. Ademais, em versões mais recentes, há microcontroladores com interfaces de rede Wi-Fi e Bluetooth (22).

Para o presente trabalho foi empregado o microcontrolador Arduino MKR WiFi 1010, que conta com um processador Arm® Cortex®-M0, e com memória de 256 kB flash e 32 kB SRAM. Ademais, esse microcontrolador tem conectividade Wi-Fi proporcionada pelo módulo NINA-W10, de baixo consumo de energia, que opera em 2,4 GHz. Por fim, trata-se de uma placa de prototipagem eletrônica miniaturizada com dimensões de 61,5 mm de comprimento por 25 mm de largura (23). Essas características possibilitaram a utilização desse dispositivo para hospedagem do servidor WEB, bem como, em razão de suas dimensões, o acoplamento do dispositivo ao corpo de um VANT comercial de baixo custo.

No que tange à programação desenvolvida para controle do sistema de coleta e análise, utilizou-se a linguagem Arduino que é baseada na linguagem C++. Trata-se de uma linguagem que teve como uma de suas bases a linguagem C, da qual herdou

a característica de portabilidade, o que possibilita que ela seja empregada em qualquer sistema. Ademais, o C++ pode englobar diversos paradigmas de programação como: procedural e orientada à objetos, sendo esse último paradigma o responsável por tê-la tornado uma base para a linguagem Arduino (24).

Dessarte, o presente trabalho teve por finalidade a construção de uma ferramenta inovadora para monitoramento ambiental, integrando sistema de coleta e análise microcontrolado com transmissão de dados via Wi-Fi, o que demandou integração e elaboração de *hardware e software*.

Ademais, o uso de microcontroladores para análises de cunho ambiental tem sido um recurso cada vez mais difundido e validado. Pesquisadores da Universidade de Taubaté, relataram o uso de microcontrolador Arduino integrado com sensor ultrassônico para medição de velocidade de infiltração de água em solo, utilizando o método de infiltrômetro de anel, verificando os benefícios da ferramenta para análise de permeabilidade do solo (25).

#### **2.4.5 Modelo OSI, Arquitetura TCP/IP e Protocolo HTTP**

O presente trabalho fez uso do protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) para estruturação de comunicação entre dispositivos, a fim de possibilitar o comando do sistema de coleta e análise e o recebimento de dados de forma remota, utilizando uma rede WLAN (*Wireless Local Area Network*), a qual é composta de um ponto de acesso (*access point*) e de estações de trabalho, as quais são equipamentos terminais que estabelecem conexão, através de ondas eletromagnéticas, com o dispositivo central, isto é, com o *access point* (26). Sendo assim, será explanado, de forma mais detalhada, os modelos e arquiteturas de rede que embasaram o desenvolvimento do presente trabalho.

Um sistema aberto abrange as finalidades de interoperabilidade e interconectividade, conceitos que dizem respeito a capacidade de troca de informações entre sistemas de diferentes fabricantes, e a capacidade de interconexão computadores, ainda que de origens distintas. Por fim, sistemas abertos englobam características de portabilidade de aplicação e escalabilidade, o que torna possível

que um software seja executado de forma satisfatória em plataformas e dispositivos diversos e com capacidades de processamento diferentes (26).

Em 1984, a *International Standards Organization* desenvolveu o Modelo do OSI (*Open Systems Interconnection*), que estrutura, em camadas, a transferência de dados dentro de uma rede de comunicação. O Modelo OSI é composto por: camada de aplicação, camada de apresentação, camada de sessão, camada de transporte, camada de rede, camada de enlace e camada física, cada uma delas desempenha uma função bem definida nesse processo de transferência de dados (27).

Em termos de estruturação em camadas para conectividade de redes de computadores, a arquitetura TCP/IP tem fundamental importância, tendo sido concebida pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, essa arquitetura é baseada nas seguintes camadas: de aplicação, de transporte, de rede e de interface de rede. Cada camada tem suas funções e protocolos próprios, por exemplo a camada de aplicação conta com protocolos como: HTTP, FTP, DNS, SMTP; já a camada de transporte que tem a finalidade estabelecer comunicação fim-a-fim, permitindo o fluxo de pacotes de dados, utiliza os protocolos TCP e UDP; a camada de rede conta com o protocolo IP, por fim a camada de interface de rede, ou camada de enlace de dados, é a responsável pela transmissão de datagramas em forma de quadros através da rede física (26). A relação entre as camadas do modelo OSI e da Arquitetura TCP/IP podem ser vistas de forma esquemática na Figura 6.

Figura 6 – Relação entre Camadas do Modelo OSI e da Arquitetura TCP/IP.

| Modelo OSI/ISO | Modelo TCP/IP |
|----------------|---------------|
| Aplicação      | Aplicação     |
| Apresentação   |               |
| Sessão         | Transporte    |
| Transporte     |               |
| Rede           | Rede          |
| Enlace         | Enlace-Física |
| Física         |               |

Fonte: Adaptado de (22).

Conforme mencionado, foi utilizado o HTTP para estabelecimento de comunicação WEB entre dispositivos, esse protocolo permite a troca de informações, por meio de mensagens padronizadas, entre cliente e servidor, esse modelo funciona da seguinte forma: o cliente é a entidade responsável pela realização de requisições, a fim de obter informações ou serviços do servidor WEB, podendo ser navegadores, aplicativos móveis, entre outros (28); já o servidor, um *software* que pode ser executado em computadores de alto desempenho ou em dispositivos IoT (*Internet of Things*) , mantém aberta a porta de comunicação à espera da conexão de um cliente, que deve acessá-lo através de seu endereçamento (22); o servidor realiza o processamento das requisições e o envio de respostas aos clientes (28).

#### **2.4.6 Modelagem e impressão de componentes em 3D**

Para projetar as peças que possibilitaram o acoplamento dos sistemas de amostragem de águas e de detecção de poluentes ao VANT, fez-se uso do *software* FreeCAD de modelagem paramétrica 3D.

Esse *software* é multiplataforma, podendo ser compilado em vários sistemas operacionais, a saber: Windows, Linux e Mac. Ademais, trata-se de um modelador paramétrico *open-source*, que consegue realizar a leitura e gravação em diversos formatos e extensões, tais como: OBJ, SVG, STL, entre outros (29), sendo alguns desses formatos compatíveis com *softwares* de fatiamento para impressão 3D.

As peças modeladas no FreeCAD foram desenvolvidas para fixação de tubos eppendorf de 2 ml e do sistema eletrônico ao VANT. Para realização do fatiamento das peças lançou-se mão do *software* UltiMaker Cura na versão 5.6.0. Sendo possível definir neste *software* o modelo da impressora 3D, bem como o tipo de filamento disposto para impressão, a espessura das camadas, a temperatura do bico extrusor e o aquecimento da manta térmica para fixação da peça durante a impressão.

As peças foram impressas em impressora 3D que opera com deposição de filamento fundido, tendo-se utilizado PLA (ácido polilático) como material, o qual é um composto biodegradável de baixa contração, que confere alta dureza superficial e resistência a abrasão (30).

## 2.5 Técnicas eletroquímicas de análise

A origem dos estudos da eletroquímica remonta ao final do século XVIII, quando, durante o processo de dessecação de um sapo, Luigi Galvani notou a contração muscular do animal ao ter suas terminações nervosas tocadas por lâminas metálicas, fato que impulsionou estudos sobre o que viria a ser definido como corrente elétrica. Ainda no que tange aos fundamentos da eletroquímica, cientistas como Alessandro Volta e Michael Faraday tiveram contribuições basilares. Em 1800, Alessandro Volta descreveu o fluxo de energia resultante da imersão, em solução salina, de uma placa prata unida com pasta a uma placa de zinco, sendo que, apenas décadas após esse fato, ficou demonstrado por Michael Faraday a importância da solução salina, eletrólito de suporte, na constituição da pilha (31).

Ainda no que diz respeito às bases da eletroquímica, tem-se as técnicas voltamétricas cuja origem está vinculada ao desenvolvimento, por Jaroslav Heykrovský, da técnica de polarografia que se baseava no uso de eletrodo de mercúrio para fins de identificação e quantificação de íons metálicos em solução (31).

Nesse contexto de análises eletroquímicas, têm-se as técnicas voltamétricas que se baseiam numa varredura de diferença de potencial, isto é, a diferença entre o potencial aplicado no eletrodo de trabalho e o aplicado no eletrodo de referência ao longo do tempo. A forma como essa varredura se processa define a técnica empregada. Durante a varredura de potencial, a espécie eletroativa presente na solução deve sofrer algum processo faradáico de redução ou de oxidação, fazendo surgir uma corrente elétrica para determinados valores de potencial. Com esses dados, é gerada uma curva de corrente em função do potencial, denominada voltamograma (32). A partir das análises dos picos de corrente para determinados potenciais, pode-se determinar a espécie eletroativa presente na amostra analisada.

As técnicas voltamétricas apresentam características como alta sensibilidade e custo instrumental reduzido, além de poderem ser aplicadas à análise ambiental (31).

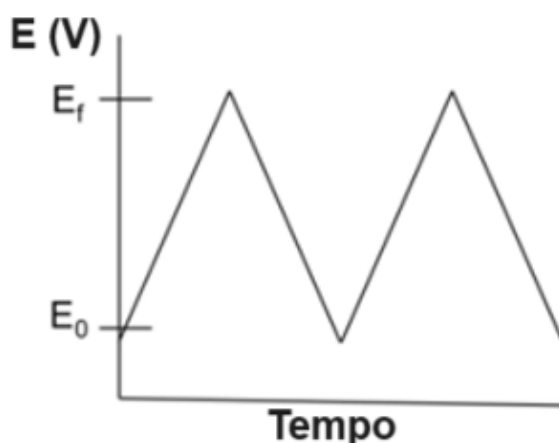
Os subtópicos adiante explanarão as técnicas de voltametria que foram aplicadas no presente trabalho e dissertarão sobre as vantagens dessas técnicas nos estudos de mecanismo de reação.

### 2.5.1 Voltametria cíclica

A técnica de voltametria cíclica consegue fornecer informações qualitativas no que diz respeito às reações eletroquímicas, esclarecendo acerca da termodinâmica do processo e da cinética das reações de transferência de elétrons (31).

O processo de varredura de potencial na voltametria cíclica ocorre, conforme apresentado na Figura 7, variando linearmente o potencial aplicado ao eletrodo de trabalho estacionário, em relação ao eletrodo de referência. Dessarte, o potencial no eletrodo de trabalho diminui, até regiões nas quais acontece a redução da espécie eletroativa, em seguida, ao atingir o limite mínimo definido, há a inversão do sentido de varredura até atingir o ponto inicial, o que promove a oxidação dos produtos gerados no sentido direto da reação, no caso de uma reação reversível (31).

Figura 7 – Varredura de potencial na voltametria cíclica.

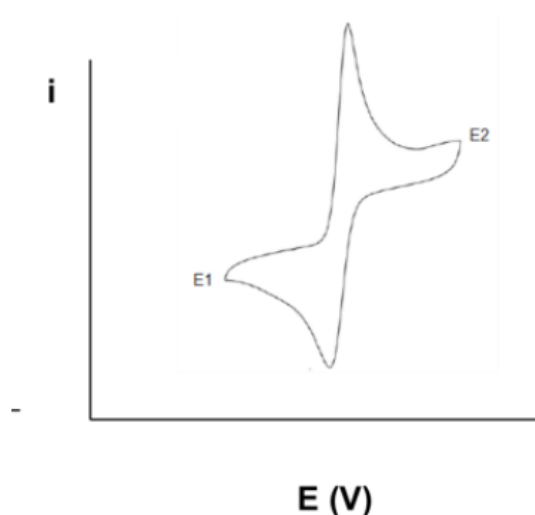


Fonte: Adaptado de (33).

Nos potenciais nos quais ocorrem os processos de redução e oxidação há o aparecimento de correntes de pico simétricas de redução e de oxidação. Ademais, tais correntes de pico, em reações reversíveis, são proporcionais à concentração da espécie e à raiz quadrada da velocidade varredura, mas o potencial de pico não deve alterar-se em decorrência da modificação dessa velocidade. Dessa forma, ao plotar-se o voltamograma, isto é, o gráfico de corrente em função potencial, obtém-se, para

uma reação reversível, resultado similar ao apresentado na Figura 8. Por fim, vale ressaltar que esta técnica tem grande utilidade no estudo de mecanismos de reação.

Figura 8 –Voltamograma oriundo de voltametria cíclica.



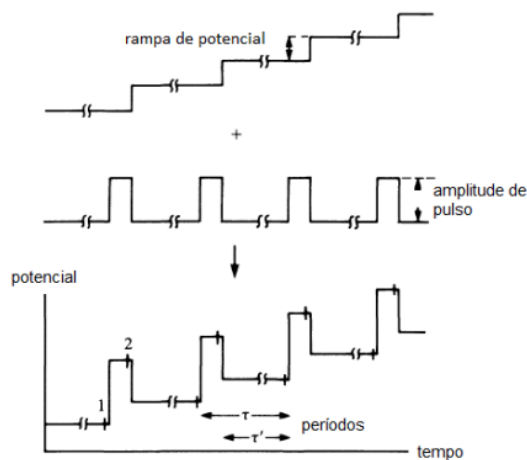
Fonte: Adaptado de (33).

### **2.5.2 Voltametria de pulso diferencial**

A técnica de voltametria de pulso diferencial (DPV) tem por fundamento a aplicação de pulsos de tensão sobre uma rampa de potencial em formato de escada e a medição dos valores de corrente antes e ao final da aplicação de cada pulso, então é calculada a diferença entre os dois valores obtidos. Essa diferença é plotada no gráfico da corrente em função do potencial, denominado voltamograma. Na Figura 9 pode ser observada a forma de varredura de potencial utilizada numa DPV.

Para essa técnica é válido observar que o valor da corrente máxima é proporcional à amplitude do pulso. Contudo, é recomendável que tal amplitude não ultrapasse o valor de 100 mV, tendo como consequência a perda de resolução devido ao aumento da largura do pico. Uma das vantagens desse método, deve-se à dupla medição e subtração dos valores de corrente aferidos, o que minimiza o efeito da corrente capacitiva. Outros parâmetros a serem otimizados na DPV são: amplitude de potencial, incremento de potencial e tempo entre os pulsos (32).

Figura 9 – Varredura de potencial na voltametria de pulso diferencial.

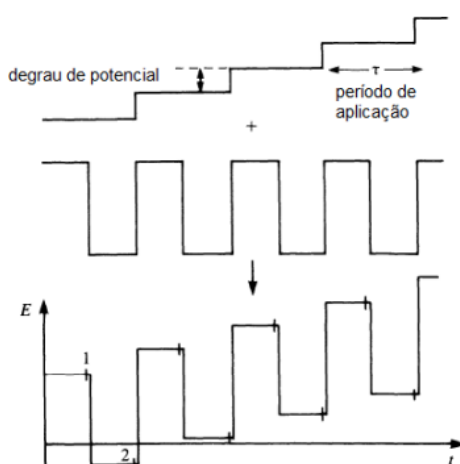


Fonte: (33).

### 2.5.3 Voltametria de onda quadrada

Essa técnica também utiliza a rampa de potencial em formato de escada, mas, diferentemente da DPV, adiciona-se uma onda quadrada à rampa de potencial. Nessa técnica, um ciclo de onda quadrada é sobreposto a cada degrau da rampa de potencial, conforme pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Varredura de potencial na Voltametria de onda quadrada.



Fonte: (33)

Nessa técnica analítica, a corrente é aferida em dois momentos: ao fim do pulso negativo e ao fim do pulso positivo, dessa maneira é possível obter os picos de corrente no sentido direto e inverso da onda, além de ser calculada a subtração entre as correntes obtidas em cada um desses momentos. Por fim, gera-se um voltamograma contendo a diferença entre as correntes medidas em função do potencial. A SWV tem por vantagens: admitir uma maior velocidade de varredura, o que implica menor tempo na realização das análises, além de um menor consumo das substâncias eletroativas (32).

### **3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

O desenvolvimento do presente trabalho levou em consideração diversas etapas, as quais englobam fases de: elaboração de projeto, testes dos equipamentos do sistema de sucção e do dispositivo para análise eletroquímica, simulações, elaboração e integração de algoritmos, confecção de eletrodos impressos, construção de circuitos, designer e impressão de peças em 3D, e validação dessas etapas.

Dessarte, esse capítulo discorrerá de maneira assertiva sobre cada uma das fases que culminaram na construção da ferramenta de análise ambiental proposta nesse projeto.

#### **3.1 Sistema eletrônico de captação de águas superficiais**

O circuito eletrônico foi integralmente construído em laboratório, desde o protótipo, a miniaturização do circuito para conseguir acoplá-lo ao arduino MKR 1010, até os testes de sucção e direcionamento do fluxo de águas.

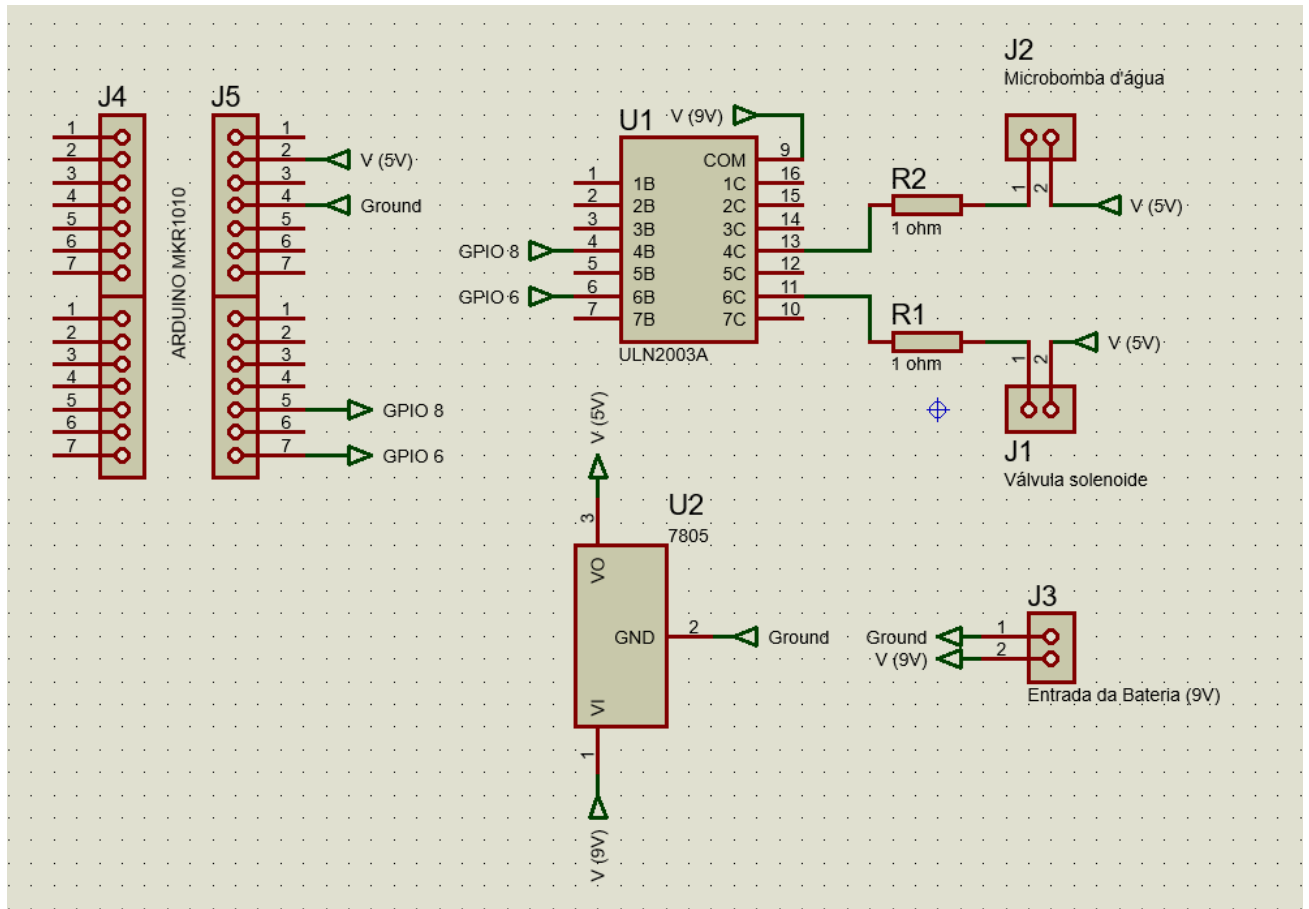
##### **3.1.1 Circuito Desenvolvido**

Para o desenvolvimento do sistema eletrônico de sucção de águas superficiais utilizou-se um microcontrolador, com módulo para conexão Wi-Fi, além de reguladores de tensão, circuitos integrados com transistores Darlington, uma microbomba d'água e uma válvula solenoide.

O microcontrolador mencionado tem como finalidade hospedar um servidor *WEB*, desenvolvido no IDE do Arduino, a partir do qual pode-se enviar comandos para acionar ou desligar o sistema de sucção de forma remota.

Contudo, é necessário ressaltar que os terminais de saída digital dos microcontroladores não conseguem fornecer a potência necessária para ligar diretamente os demais componentes do sistema, a saber: a válvula solenoide e a microbomba d'água. Em decorrência disso foi concebido o circuito eletrônico cuja representação esquemática está mostrada na Figura 11.

Figura 11 – Representação esquemática do circuito eletrônico de amostragem de águas.



Fonte: Autoria Própria.

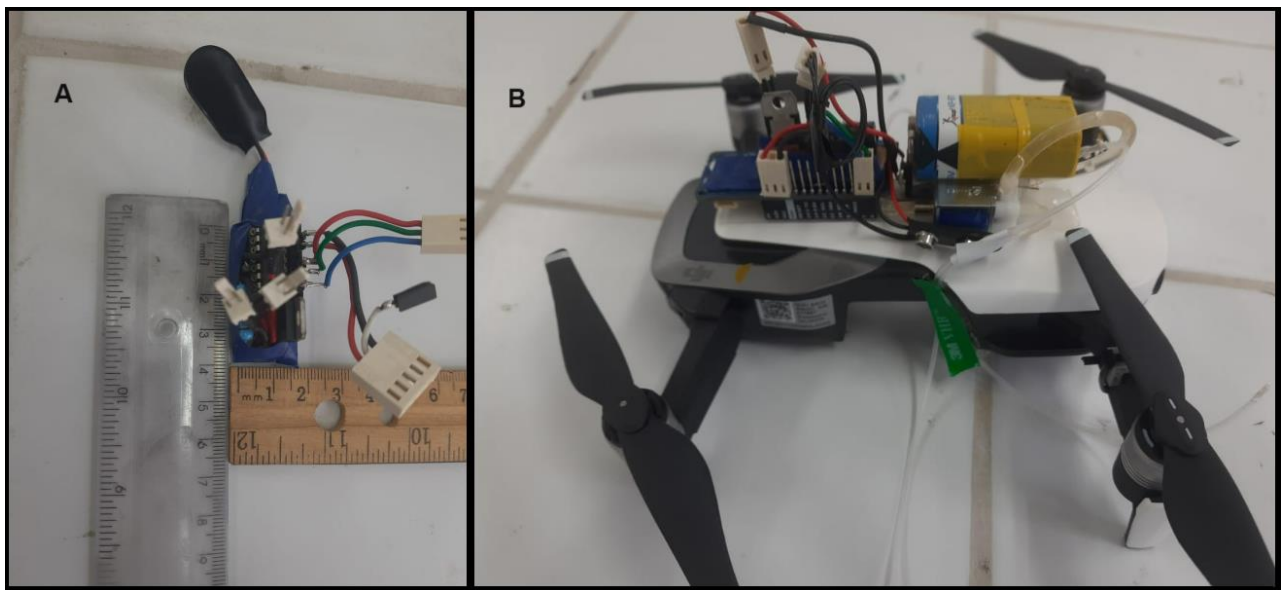
Dessarte, o circuito é alimentado por uma bateria externa de 9 V e 450 mAh, todavia os dispositivos utilizados na montagem desse sistema de sucção têm especificações para atuarem em tensões inferiores a 9V sendo necessário o emprego de um regulador de tensão LM7805, cuja finalidade é abaixar a tensão de entrada de 9 V para 5 V na saída. Assim sendo, pode-se energizar tanto o microcontrolador, quanto a microbomba d'água e a válvula solenoide.

A fim de integrar o acionamento desses componentes com os comandos do microcontrolador valeu-se do circuito integrado ULN 2003, que conta com sete pares de transistores Darlington de coletor aberto e emissor comum. Dessa forma, ao acionar um terminal de saída do microcontrolador conectado a uma das entradas do ULN 2003, haverá um ganho de corrente na saída correspondente, podendo atingir

500 mA por saída do ULN 2003. Esse valor de corrente é suficiente para ligar a microbomba d'água bem como a válvula solenoide.

Sendo assim, o circuito projetado foi montado numa placa de fenolite perfurada com dimensões reduzidas para ter encaixe adequado entre os terminais do microcontrolador, a fim de reduzir a área demandada para acoplamento ao drone conforme exposto na Figura 12.

Figura 12 – Circuito eletrônico para coleta de águas superficiais – A: Dimensões do circuito  
B: Primeira forma de fixação do circuito ao drone.



Fonte: Autoria Própria.

### 3.1.2 Medição de Vazão da microbomba

Ainda no que tange ao circuito de amostragem, foram realizados testes para averiguação da vazão da microbomba d'água. Para tanto, utilizou-se o circuito eletrônico anteriormente descrito, alimentado por uma bateria de 9 V. Os ensaios foram feitos em laboratório, direcionando o fluxo de água aspirado pela microbomba para provetas de 50 mL, nas quais foram medidos os volumes sugados, conforme mostrado na Figura 13.

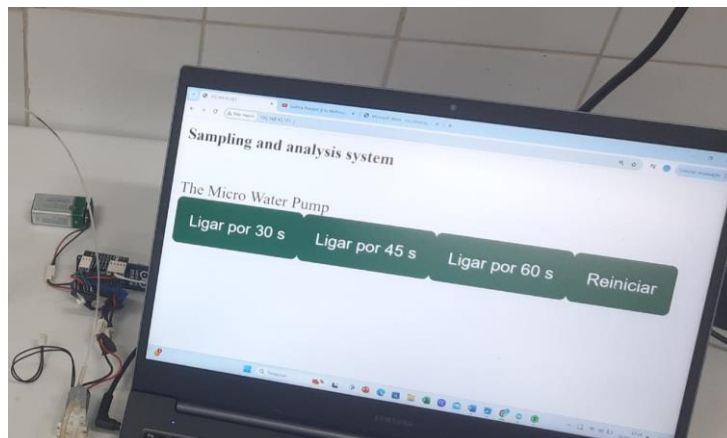
Figura 13 – Ensaio para medição da vazão da microbomba d'água.



Fonte: Autoria Própria.

Ademais, para realização desse teste foi desenvolvido um algoritmo no IDE do Arduino para hospedar um servidor *WEB* no Arduino MKR 1010. Esse servidor tem por base de comunicação o protocolo HTTP da camada de aplicação e teve a interface *WEB* estruturada em HTML. Essa aplicação *WEB* foi fundamentada na criação de botões que, ao serem acionados por um cliente que haja se conectado ao IP do servidor, inserem letras ao final da *URL* servindo de gatilho para ativar a microbomba d'água por intervalos de tempo definidos no algoritmo. Na Figura 14 está apresentada a interface *WEB* estruturada para o teste de vazão, o código que gerou o servidor *WEB* descrito está disponível integralmente no Apêndice A do presente trabalho.

Figura 14 – Interface WEB para o Teste de vazão.



Fonte: Autoria Própria.

A fim de minimizar o efeito de quaisquer perturbações externas que porventura pudessem provocar variações nas medidas de vazão, cada ensaio foi feito em triplicata. No total, foram realizados nove testes, considerando intervalos de tempo de 30, 45 e 60 segundos. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

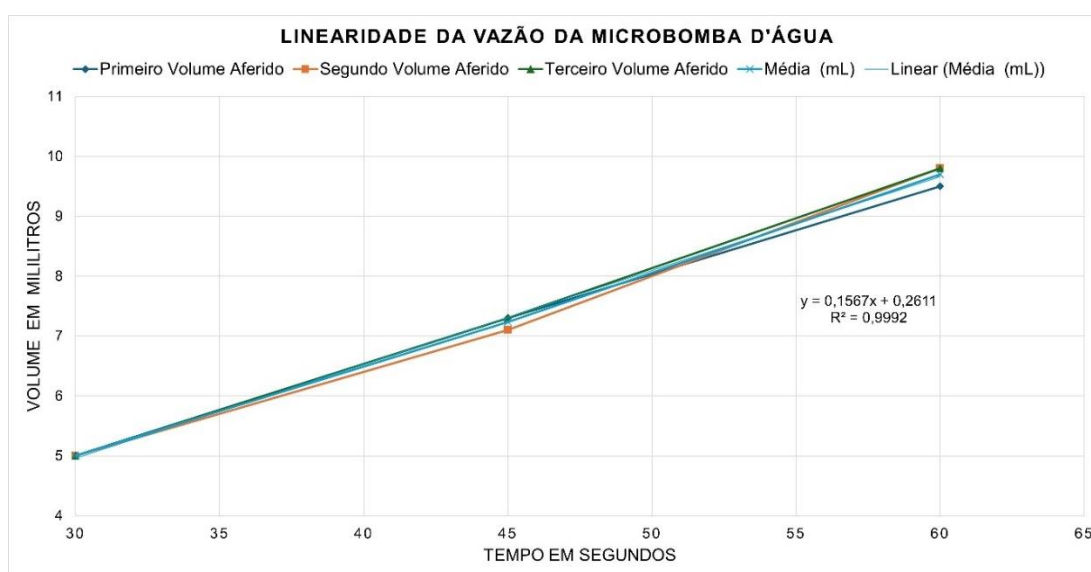
Tabela 1- Testes de vazão da microbomba d'água.

| Tempo (s) | 1º Volume (mL): | 2º Volume (mL): | 3º Volume (mL): |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 30        | 5,0             | 5,0             | 5,0             |
| 45        | 7,3             | 7,1             | 7,3             |
| 60        | 9,5             | 9,8             | 9,8             |

Fonte: Autoria própria.

Desse modo, dadas as condições de energização da microbomba em 5 V, tensão regulada através do Lm7805, pode-se asseverar que o volume captado pela microbomba d'água tem comportamento linear em relação os intervalos de tempo descritos, conforme pode ser visto na Figura 15. Ademais, de acordo com os dados obtidos, torna-se possível inferir que a vazão média da microbomba é de  $9,78 \pm 0,19$  mL/min. Essa medição de vazão serviu de parâmetro para estabelecer os intervalos necessários para preencher os tubos de amostragem que foram acoplados ao drone.

Figura 15 – Curvas relativas à análise de vazão da microbomba d'água.



Fonte: Autoria Própria.

### **3.1.3 Testes realizados em campo para verificação do funcionamento do sistema de coleta.**

A fim de averiguar o funcionamento do sistema de coleta bem como a estabilidade de voo do drone ao acoplar-se essa carga, foram realizados testes em campo.

Para realização desses testes, lançou-se mão de um algoritmo desenvolvido no IDE do Arduino cuja estrutura baseou-se em intervalos de tempo pré-definidos, visando otimizar o voo do drone e a duração da bateria que alimenta o circuito. Para tanto, foram consideradas quatro etapas para sucção de duas alíquotas de águas superficiais: deslocamento, primeira coleta, viagem e segunda coleta.

A fase de deslocamento diz respeito ao intervalo de tempo requisitado para o drone deslocar-se até o primeiro ponto de coleta, nesse ínterim ficam desligadas tanto a microbomba d'água quanto a válvula solenoide.

Na etapa de primeira coleta apenas a microbomba d'água é acionada o que permite o direcionamento do fluxo de água para um dos tubos *ependorf* de 2 mL utilizado.

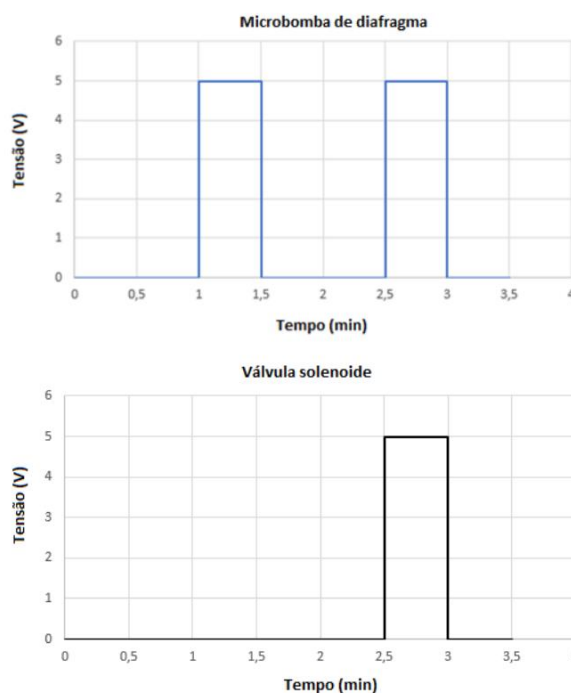
A fase posterior, denominada viagem, refere-se ao tempo necessário para que o VANT possa se deslocar até o próximo ponto de coleta. Nesse estágio a microbomba d'água e a válvula solenoide ficam desligadas a fim de economizar bateria.

Por fim, dá-se início a segunda coleta, período no qual ambos os componentes do sistema de sucção são energizados de forma a direcionar o fluxo de água para o segundo tubo de armazenamento.

Todas essas etapas estão esquematizadas de forma gráfica na Figura 16, na qual estão mostrados os momentos de acionamento de microbomba (A) e da válvula solenoide (B). Os intervalos de tempo foram dimensionados de forma a garantir o completo preenchimento dos tubos de amostragem, com base no valor de vazão da microbomba d'água.

Dessarte, esses testes em campo ratificaram a eficiência do sistema autônomo de coleta de águas superficiais acoplado ao VANT, que conseguiu aspirar alíquotas de águas superficiais e preencher os recipientes conforme esperado.

Figura 16 – Acionamento temporal do sistema de coleta de águas.



Fonte: Autoria Própria.

### 3.2 Sistema de análise eletroquímica

O sistema de análise eletroquímica baseou-se na elaboração de uma célula eletrolítica, em que há aplicação de uma diferença de potencial a partir de uma fonte externa a fim de impelir a ocorrência de reações não espontâneas (34).

Para tanto, empregou-se um eletrodo impresso fabricado em laboratório em conjunto com potenciostato portátil Emstat Pico, controlado a partir do servidor WEB hospedado no microcontrolador.

Nos tópicos adjacentes será elucidado o processo, bem como as etapas, ensaios e testes de validação que acarretaram o desenvolvimento do sistema de análise empregado.

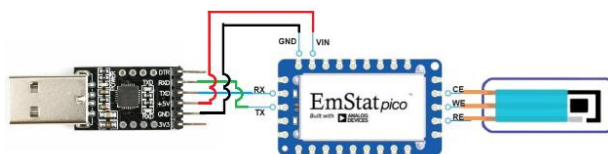
### 3.2.1 Formas de controle do potenciostato.

O Emstat Pico pode ser controlado através do *software* PStTrace, compatível com o sistema operacional Windows. Para tanto fez-se necessário o emprego de um conversor USB Serial, neste caso fez-se uso do módulo CP 2102 a fim de viabilizar a comunicação entre o computador e o potenciostato.

As conexões realizadas entre esses dois equipamentos podem ser vistas na Figura 17, na qual fica nítida a interligação dos terminais de comunicação e alimentação dos dispositivos.

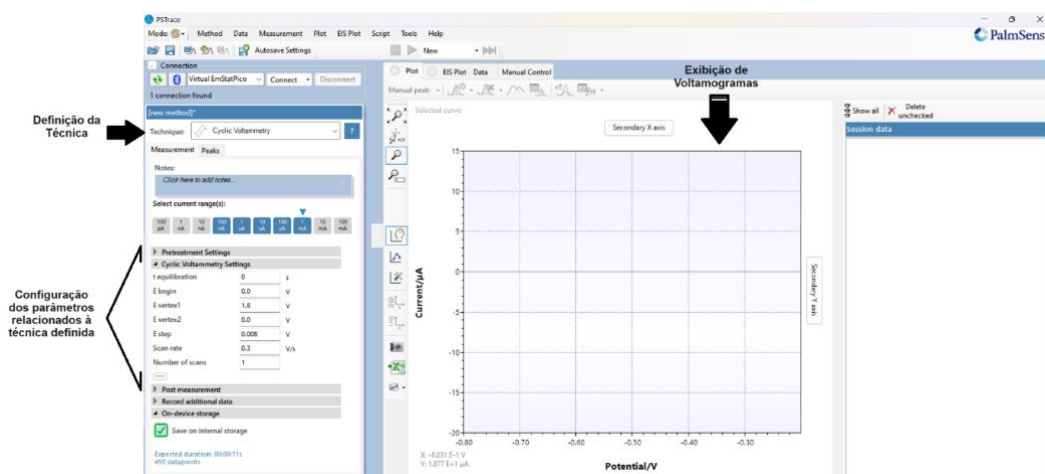
Realizada essa conexão e instalado o driver compatível com o conversor utilizado, pôde-se realizar análises eletroquímicas, definindo as técnicas e parâmetros por meio do *software* PStTrace na versão 5.8, cuja interface e descrição estão apresentadas na Figura 18.

Figura 17 – Representação esquemática da conexão entre EmStat Pico e conversor CP2102.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 18 – Interface do PStTrace.

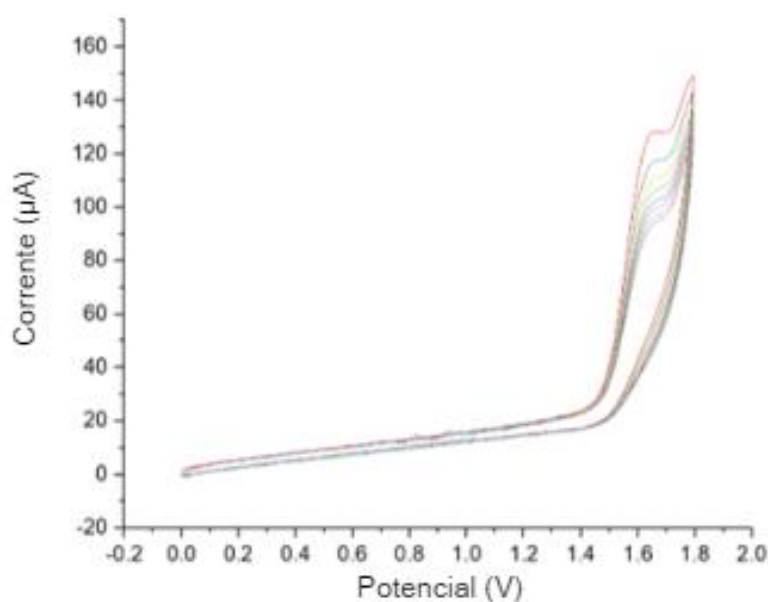


Fonte: Autoria Própria.

A partir dessa montagem do sistema de detecção eletroquímica e utilizando-se BDD (Diamante Dopado com Boro) com eletrodo de trabalho, Platina como contra-eletrodo e Ag/AgCl como eletrodo de referência, realizou-se a voltametria cíclica em uma solução contendo 1 mM do herbicida Bromacil, tendo como eletrólito de suporte uma solução de ácido fosfórico em pH 2. Vale ressaltar que foram realizados múltiplos ciclos de varredura de potencial, sendo possível identificar o aparecimento de uma corrente de pico de oxidação na região de 1,4 a 1,6 V. Ademais, foi possível asseverar que a espécie em análise apresentou um processo de oxidação irreversível, conforme pode ser visto no voltamograma apresentado na Figura 19.

Dessarte, foi possível validar essa forma de controle do EmStat Pico, bem como inferir a capacidade de detecção de limites baixos do agrotóxico mencionado.

Figura 19 – Voltametria cíclica do Bromacil.



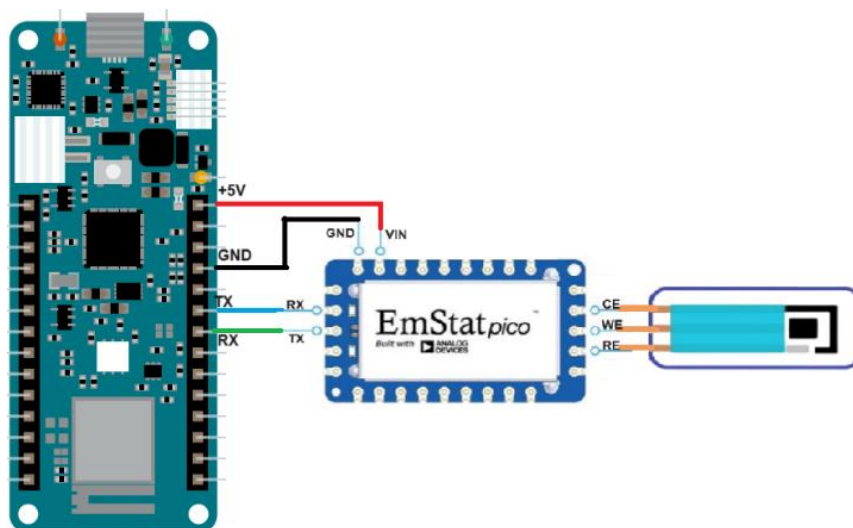
Fonte: Autoria Própria.

Posto isso, essa seria uma forma de detecção de contaminantes que poderia ser realizada em campo, após coleta de amostras de água com drone. Contudo, isso não atingiria o objetivo desse trabalho de ter um sistema de coleta e análise acoplado ao

drone, que realizasse medições em tempo de voo e enviasse os dados aferidos em tempo real, utilizando o conceito de IoT.

Para atender ao propósito integral do presente trabalho, fez-se uso do controle do potenciostato via microcontrolador, utilizando a comunicação Serial (TTL), apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Conexão entre EmStat Pico e MKR 1010.

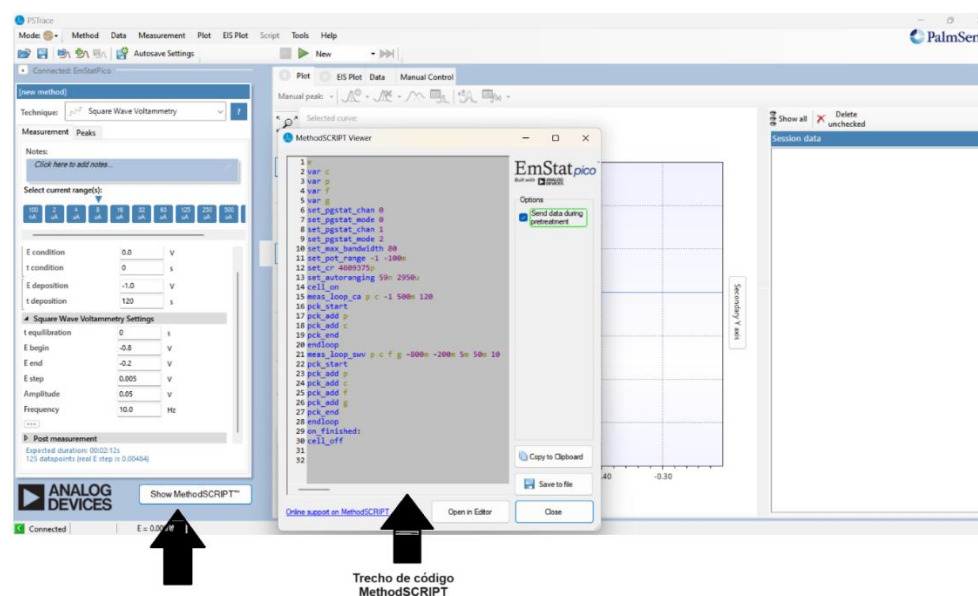


Fonte: Autoria Própria.

Para tanto, fez-se necessária a elaboração de um algoritmo no IDE do Arduino, que realizasse o envio do código em MethodSCRIPT para o potenciostato, e que tratasse os dados oriundos da análise voltamétrica realizada por esse potenciostato.

Vale ressaltar que a linguagem MethodSCRIPT tem por finalidade integrar os potenciostatos da fabricante. Sendo assim, a partir dela é possível definir as informações relativas à técnica eletroquímica a ser aplicada, bem como os parâmetros dela, e enviar esse *Script*, através de comunicação serial TTL, ao potenciostato (35). Trechos de código MethodSCRIPT podem ser extraídos do *Software* PSTrace, conforme mostrado na Figura 21, bastando definir as configurações da técnica eletroquímica e acionar o botão *Show MethodSCRIPT*, que fica disponível ao conectar um dispositivo com suporte para essa linguagem.

Figura 21 – Extração de código MethodSCRIPT via PStace.



Fonte: Autoria Própria.

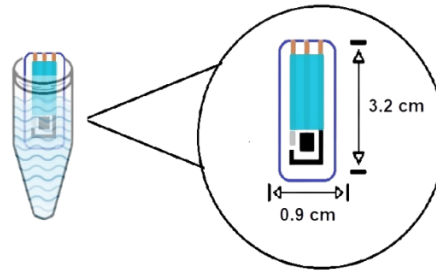
De forma sucinta, são realizadas as etapas de estabelecimento de conexão com o dispositivo, envio do trecho de algoritmo MethodSCRIPT ao potenciotato e, após ser realizada a análise e enviadas as informações aferidas, deve-se ler e tratar os pacotes de dados da medição realizada (35).

Outrossim, a fim de controlar remotamente o sistema de análise em conjunto com o sistema de coleta, foi elaborado o código que será explanado no item 3.3, que possibilitou o envio dos dados da detecção eletroquímica em tempo real para a interface WEB criada.

### 3.2.2 Eletrodo impresso fabricado em laboratório

Em laboratório fabricou-se o eletrodo impresso utilizado na célula eletrolítica acoplada ao drone. O processo de impressão lançou mão de uma placa de fenolite recoberta com cobre, a qual foi reduzida até as dimensões de 3,2 cm de comprimento por 0,9 cm de largura, o que possibilita o acoplamento em pequenos frascos como tubos *ependorf* de 2 mL, conforme representação esquemática na Figura 22.

Figura 22 – Representação de eletrodo fabricado inserido em tubo *ependorf*.



Fonte: Adaptado de (36).

Em seguida, utilizando tinta permanente e percloroeto de ferro, foi realizada a corrosão da superfície de cobre, de forma a manter o contato elétrico apenas em três trilhas, nas quais foram conectados o eletrodo de trabalho BDD (Diamante Dopado com Boro), o eletrodo de referência de Prata e o contra eletrodo feito com tinta condutiva de carbono.

Para finalizar, recobriu-se todas as trilhas de cobre com resina epóxi, garantindo o isolamento desse metal, para evitar qualquer interação com as soluções analisadas. Dessarte, obteve-se um eletrodo de dimensões milimétricas, fabricado e validado em laboratório por meio de ensaios com técnicas difundidas na literatura e que pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 – Eletrodo impresso fabricado em laboratório.



Fonte: Autoria Própria.

### 3.3 Servidor WEB hospedado no microcontrolador

Para realização do controle via Wi-Fi do sistema de coleta e análise, valeu-se da estruturação de um servidor WEB hospedado na placa de prototipagem eletrônica

como módulo Wi-Fi integrado. Em termo de *hardware*, recorreu-se ao circuito eletrônico exposto na Figura 11 em conjunto com o controle do potenciostato via MKR1010, exposto na Figura 20.

Isso posto, formulou-se um algoritmo que, de forma única, reuniu exemplos de código fornecidos no repositório da PalmSens em comunhão com tutoriais de hospedagem de servidor WEB da Arduino e com contribuições do presente autor. Para tanto, o código elaborado pode ser dividido em etapas, a exemplo da declaração de variáveis e da conexão com a rede Wi-Fi que estão apresentadas na Figura 24.

Figura 24 –Trecho do código: declaração de variáveis e função setup.

```
// Definição da variáveis que serão utilizadas
int Vs= 6;      // Vavula solenoide
int Bd= 7;      // Micrombomba d'água

Variable that stores the potential value applied by emstat pico in each subpackage
// Segunda Etapa: Variáveis que armazenarão os valores de tensão e corrente aferidos via potenciostato

String corrente; // Variável que armazena o valor atual de corrente medido pelo emstat pico em cada subpacote
String potencial; // Variável que armazena o valor potencial aplicado pelo emstat pico em cada subpacote
int _nDataPoints = 0;
char _versionString[30];
int x=0;
int dispositivo=23;
int package_nr = 0;
String valorpotencial [350]; // Vetor string criado com a finalidade de armazenar os valores de potencial aplicados durante a voltametria
String valorcorrente[350]; // Vetor string criado com a finalidade de armazenar os valores de corrente medidos durante a voltametria
int nm=0;
int contagem=0;
int voltametria=1; //Variável cuja finalidade é identificar se o comando remoto para início da análise eletroquímica foi acionado
int analise=0; // Variável que será utilizada como gatilho para iniciar a análise eletroquímica
String maxcorrente= "0.999999999999"; // O valor desta variável será atualizado com o valor real da corrente de pico medida na voltametria
String maxpotencial; // Esta variável armazenará o valor potencial de pico
float correntedepico; // Armazena o maior valor de corrente medido na voltametria

// Função Setup, que é chamada apenas uma vez durante o programa
void setup()
{
  Serial.begin(230400);

  pinMode(Vs, OUTPUT); //Configura "Vs" como pino de saída de sinal digital
  pinMode(Bd, OUTPUT); //Configura "Bd" como pino de saída de sinal digital
  // Conexão com Wifi
  while(status !=WL_CONNECTED)
  {
    Serial.print("Tentando se conectar a rede: ");
    Serial.print(ssid);
    Serial.println();
    status=WIFI.begin(ssid,pass);
    delay(500);
  }
  Serial.print("Dispositivo conectado a Rede: ");
  Serial.print(ssid);
  Serial.println();
  Serial.print("O endereço ip da placa eh: ");
  Serial.print(WiFi.localIP());
  server.begin();
}
```

Fonte: Autoria Própria.

A partir das informações de SSID e senha da rede, a placa consegue conectar-se ao roteador e passa a exibir no monitor serial o sucesso da conexão, bem como o endereço IP a ela atribuído.

Ademais, esse código foi concebido de forma que a placa de prototipagem eletrônica hospedasse um servidor WEB, o qual poderia ser acessado por qualquer

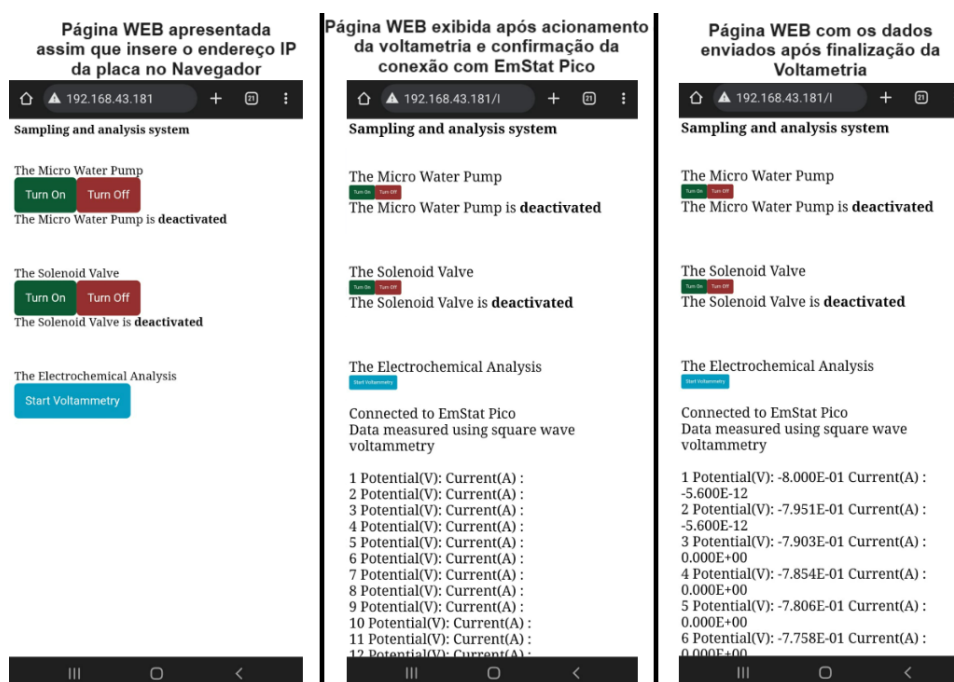
dispositivo conectado à mesma rede local, desde que inserisse num navegador o endereço IP da placa, sendo assim esse novo dispositivo desempenharia a função de cliente. Para a comunicação entre o cliente e o servidor utilizou-se o protocolo HTTP, da camada de aplicação do Modelo OSI e da arquitetura TCP/IP, sendo esse o protocolo empregado em sites na WEB.

Ainda no que concerne ao servidor WEB, ao ser acessado por um dispositivo na mesma WLAN, exibirá uma página estruturada em HTML, cujo algoritmo foi elaborado para exibir *links*, em formas de botões, utilizando a *tag* “<a>” e o atributo “*href*” para definição da URL de destino.

Ainda no que tange ao algoritmo desenvolvido, o excerto em linguagem MethodSCRIPT que configura a técnica e os parâmetros da análise eletroquímica, cujo detalhamento da forma de extração está no item 3.2.1, foi inserido no IDE na forma de variável do tipo “const Char\*”.

Assim, ao conectar-se um dispositivo como cliente, serão exibidas as páginas WEB mostradas na Figura 25, cada uma delas em conformidade com a ação realizada.

Figura 25 – Páginas WEB geradas.



Fonte: Autoria Própria.

O emprego de uma interface simples e intuitiva, com botões e colorações distintas para cada funcionalidade, foi pensado para favorecer o uso por quaisquer pessoas, independente de conhecimento específico da área.

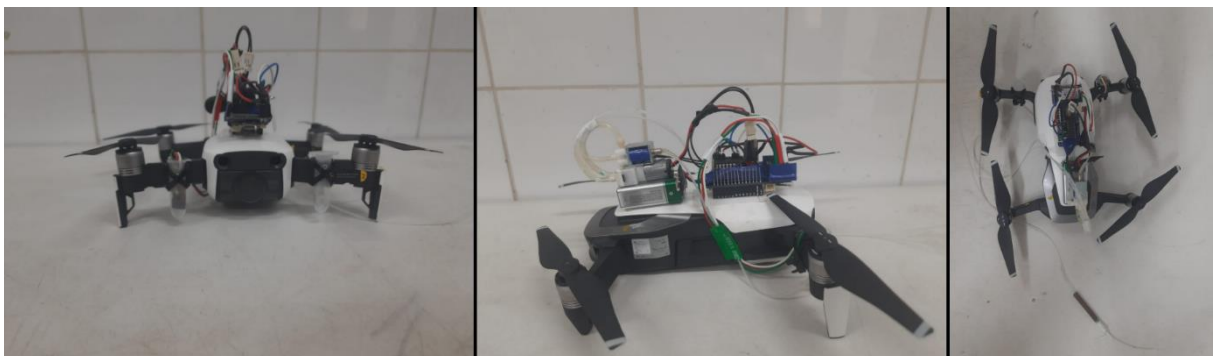
Cada botão, ao ser acionado, adiciona dados ao fim do cabeçalho da requisição, URL. Cada carácter adicionado a URL original serve de gatilho para a execução de alguma ação, seja o acionamento ou desligamento da microbomba d'água e da válvula solenoide, seja o comando que estabelece a comunicação com o EmStat Pico para iniciar a análise eletroquímica. O código completo pode ser visto no Apêndice B.

### 3.4 Modelagem e impressão de peças 3D

Durante o desenvolvimento desta ferramenta de monitoramento ambiental vinculada a veículo aéreo não tripulado, foram utilizadas estruturas para fixação do sistema de coleta e análise ao corpo do VANT.

A fim de atingir esse intento, várias estratégias foram empregadas. A primeira foi o acoplamento da plataforma de prototipagem eletrônica, bem dos demais componentes do sistema, ao corpo do VANT fazendo uso de fita dupla face 3M, a qual é composta de massa adesiva acrílica transparente, garantindo a adesão das peças à superfície da aeronave. Ademais, nesse primeiro ensaio utilizou-se abraçadeiras plásticas para fixar tubos *epeendorf* de 2 mL às hastes do drone, conforme pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Fixação do sistema de sucção ao drone.

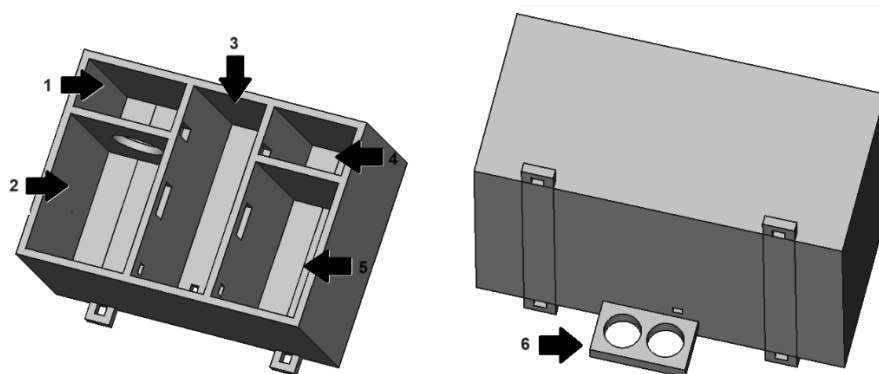


Fonte: Autoria Própria.

Essa é uma forma de fixação, de baixo custo e fácil acesso, que garante a estabilidade dos componentes sobre o Vant durante o voo, todavia há alguns inconvenientes no que se refere à sua utilização. Um obstáculo percebido foi a retirada da bateria quando descarregada, pois, isso implica o desacoplamento da microbomba d'água e da válvula solenoide que estão situadas sobre ela. Outrossim, a troca dos tubos *ependorf*, entre análises consecutivas, constitui outro contratempo, haja vista a pressão das abraçadeiras dificultar esse processo. Por fim, outro ponto que requer atenção é a exposição dos componentes eletrônicos às intempéries atmosféricas, por estarem expostos sobre o drone e poderem sofrer danos em decorrência de neblina, garoas ou chuvas repentinas.

Dessa forma, foi projetado, no *software* FreeCAD de modelagem paramétrica 3D, um suporte para acondicionar o sistema e acoplá-lo ao drone. Tal aparato contém seis compartimentos, que podem ser vistos na Figura 27.

Figura 27 – Suporte modelado em 3D.



Fonte: Autoria Própria.

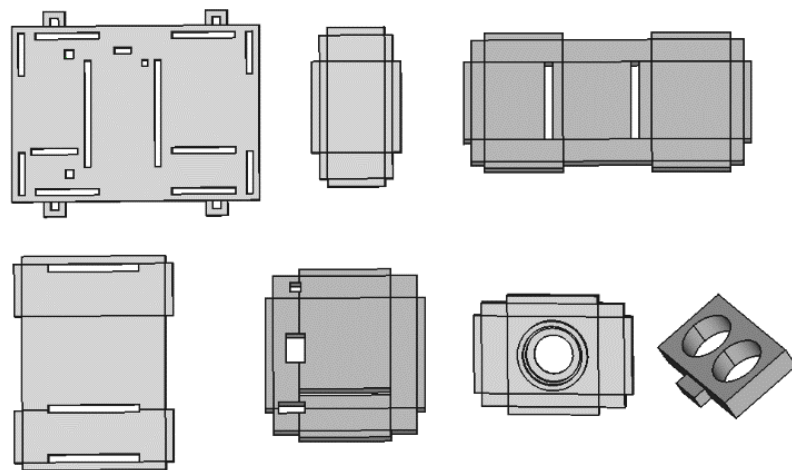
O EmStat Pico e a célula eletroquímica, na qual fica imerso o eletrodo impresso, ficam dispostos nas seções um e dois do suporte. No compartimento central ficam posicionados o circuito desenvolvido e a placa de prototipagem eletrônica. A quarta subdivisão comporta a bateria de 9V que alimenta todo o sistema, já a quinta seção é destinada a inserção da microbomba d'água e da válvula solenoide. A sexta e última estrutura tem por finalidade servir de encaixe aos frascos de armazenamento de amostras.

A impressão deste suporte foi realizada numa impressora 3D que opera com deposição de filamento fundido. Levando-se em conta a aplicação para a qual o suporte foi desenvolvido, a necessidade de robustez e de dureza superficial das peças, além do categórico fator leveza, a fim de que a massa da peça não constituísse impedimento ao voo do VANT, estabeleceu-se que o suporte seria impresso em PLA (ácido polilático) e utilizando o preenchimento cúbico com 20% de densidade.

Ainda no que tange ao processo de confecção do suporte, foi considerado que imprimir a peça inteira de uma única vez, operação que demandaria mais de trinta horas, não seria viável, haja vista a ocorrência de possíveis falhas durante o processo, a exemplo de: quedas de energia, rompimento do filamento, entre outros fatores que afetassem a qualidade da peça e pudessem levar ao descarte de vários protótipos.

Posto isso, definiu-se como estratégia a fragmentação do suporte em peças menores, que pudessem ser encaixadas de forma exata para compor a estrutura projetada. Dessa forma, o suporte foi dividido em: laterais externas, laterais internas, suportes horizontais internos e superfícies frontal, posterior, superior e inferior. Essas estruturas estão apresentadas na Figura 28.

Figura 28 – Peças projetadas para compor a caixa.



Fonte: Autoria Própria.

Realizadas as alterações supracitadas, imprimiu-se as peças e realizou-se a montagem da caixa de reduzida massa de 85,34 g, mostrada na Figura 29.

Figura 29 – Suporte impresso e montado.



Fonte: Autoria Própria.

Por fim, com o intuito de averiguar uma possível forma de acoplamento do suporte ao drone, assim como estabelecer uma comparação visual das dimensões da estrutura 3D em relação ao tamanho de um VANT comercial de baixo custo, está apresentada na Figura 30 a conexão física do suporte ao modelo Mini 2 SE da DJI.

Figura 30 – Acoplamento do suporte impresso ao drone.



Fonte: Autoria Própria.

### 3.5 Aplicações do Sistema de coleta e análise

No que concerne ao emprego da ferramenta elaborada no presente trabalho, pode-se averiguar sua eficiência na coleta de amostras de águas superficiais, utilizando algoritmo temporal, conforme exposto no subitem 3.1.3. Essa etapa de validação ocorreu mediante coletas em campo, realizadas no Lago da UFPE, conforme exposto na Figura 31 e no Reservatório Duas Unas conforme apresentado na Figura 32.

Figura 31 – Coleta de águas no Lago da UFPE.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 32 – Coleta de águas no Reservatório Duas Unas.

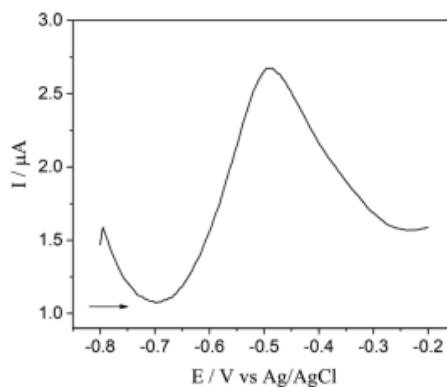


Fonte: Autoria Própria.

Outrossim, validou-se o sistema de detecção eletroquímica com envio remoto dos dados. Tendo-se realizado uma voltametria de onda quadrada com redissolução anódica, configurada com os parâmetros: frequência de 10 Hz, amplitude 50 mV, e incremento de potencial de 5 mV, além da etapa de pré-deposição. Dessarte, foi aplicada essa técnica a uma solução de água fortificada com 30 ppb de chumbo (II),

isto é, 30 mg/L. Os dados de tensão e corrente foram enviados remotamente para interface WEB, possibilitando a plotagem do voltamograma exibido na Figura 33.

Figura 33 – Voltametria de onda quadrada de 30 ppb de Pb II.



Fonte: (36).

Sendo assim, fica evidenciado o pico de oxidação de Pb(II), no potencial igual a “-0,4987 V”, o que ratifica a seletividade do método bem como sua sensibilidade, atingindo baixos limites de detecção desse metal pesado.

Por fim, também se verificou a inserção de todo sistema de detecção na estrutura 3D impressa, em seguida realizou-se uma análise qualitativa de Pb (II), a fim de ratificar que o sistema atende a funcionalidade de detecção de contaminantes ambientais, com controle e transmissão de dados via WiFi, conforme exibido na Figura 34.

Figura 34 – Montagem do circuito na peça impressa em 3D e envio de dados via WiFi.



Fonte: Autoria Própria.

## 4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

O presente trabalho atendeu aos objetivos pretendidos, no que tange à configuração de um sistema de análise e coleta, que pode ser acoplado a veículo aéreo não tripulado, para detecção de contaminantes em tempo real e envio de dados de forma remota. O que garante maior celeridade ao processo de monitoramento da qualidade de águas ambientais, sem necessidade de exposição direta do analista ao contato com possíveis contaminantes presentes nas amostras.

Propostas de continuidade do trabalho referem-se a possível substituição da placa de prototipagem eletrônica utilizada por uma ESP 32, para coleta de águas e detecção eletroquímica, visando redução de custos.

Por fim, pretende-se ampliar as formas de detecção de contaminantes, integrando análise fluorimétrica e de turbidez à ferramenta IoT desenvolvida. Dessa forma pretende-se conjugar diversas técnicas de análise sob um VANT, de forma a alcançar o conceito de *LAB-ON-A-DRONE*.

## REFERÊNCIAS

- 1 GONÇALVES E SILVA, T. V. **O DIREITO HUMANO DE ACESSO À ÁGUA POTÁVEL E AO SANEAMENTO BÁSICO. ANÁLISE DA POSIÇÃO DA CORTE INTERAMERICANA DE DIREITOS HUMANOS.** [S.l.].
- 2 Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023 - Parcerias e cooperação para a água. UNESCO World Water Assessment Programme. [S.l.]. 2023.
- 3 FOGAÇA, A. B. Dados da ONU mostram que metade da população mundial não tem acesso à água potável. **JORNAL DA USP**, 2023. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/dados-da-onu-mostram-que-metade-da-populacao-mundial-nao-tem-acesso-a-agua-potavel/>>. Acesso em: 06 mar. 2024.
- 4 OMS: Acesso à água limpa pode salvar 1,4 milhão de vidas. **Nações Unidas | ONU News Perspectiva Global Reportagens Humanas**, 2023. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2023/06/1816807>>. Acesso em: 06 mar. 2024.
- 5 Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília. 2022.
- 6 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Panorama do Saneamento no Brasil. **Ministério da Integração Nacional e do Desenvolvimento Regional**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/a-ana-e-o-saneamento/panorama-do-saneamento-no-brasil-1>>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- 7 KASVI. Análise de água e monitoramento da qualidade. **KASVI**. Disponível em: <<https://kasvi.com.br/analise-de-agua-monitoramento-qualidade/>>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- 8 DE MAGALHÃES, G. C. et al. Metais potencialmente tóxicos em rios a montante do Pantanal Norte. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 12 set. 2016.
- 9 NASCIMENTO, F. H. D.; MASINI, J. C. ANÁLISE POR INJEÇÃO SEQUENCIAL COM DETECÇÃO POR VOLTAMETRIA DE ONDA QUADRADA PARA. **Química Nova**, São Paulo, 2017.
- 10 ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DO DECEA. Voos de Vant (drones) Entenda Melhor! **Ministério da Defesa - Departamento de Controle do espaço Aéreo - Força Aérea Brasileira**, 2015. Disponível em: <[https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg\\_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor](https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor)>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- 11 SENAR SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Agricultura de precisão: operação de drones**. Brasília: [s.n.], 2018.
- 12 BORGES, R. C.; DA SILVA, S. T. **Usos de Drone em estudos ambientais**. Universidade Católica Dom Bosco. Campo Grande - MS. 2018.
- 13 NOGUEIRA, V. D. F. B.; DANTAS, J. S. **IMPACTOS AMBIENTAIS EM REGIÃO SEMIÁRIDA ANÁLISES E ABORDAGENS**. 1ª. ed. Campina Grande: Eptec, 2023.
- 14 DJI. Suppot for Mavic Air. **DJI**. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/support/product/mavic-air>>. Acesso em: 2024.

- 15 ARO AN INGERSOLL RAND BUSINESS. Bombas elétricas de diafragma: Uma visão geral. **ARO An Ingersoll Rand Business**. Disponível em: <<https://www.arozone.com/pt-br/technologies/electric-diaphragm-pumps-overview>>. Acesso em: mar. 2024.
- 16 TECHNO PUMP. Como Funcionam as bombas de Diafragma. **TECHNO PUMP**. Disponível em: <<https://www.technopump.com.br/bomba-de-diafragma-funcionamento.html>>. Acesso em: mar. 2024.
- 17 CARMAGO, M. O Que é Bomba De Diafragma | Bombas Volumétricas | Bombas de Deslocamento Positivo. **Engenharia e Cia**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=KgYoO4JnYdc>>. Acesso em: mar. 2024.
- 18 SILVEIRA, C. B. Como Funciona a Válvula Solenoide e Quais os Tipos? **Citisystems**, 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/valvula-solenoide/>>. Acesso em: mar. 2024.
- 19 OLIVEIRA, C. **Lei de Ampère**. IME. [S.l.]. 2017.
- 20 EMSTAT Pico Module Proven, tested and calibrated dual-channel potentiostat. **PalmSens**. Disponível em: <<https://www.palmsens.com/product/oem-emstat-pico-module/>>. Acesso em: 17 Maio 2024.
- 21 METHODSCRIPT. **PalmSens**. Disponível em: <<https://www.palmsens.com/methodscript/>>. Acesso em: 26 Maio 2024.
- 22 OLIVEIRA, S. D. **INTERNET DAS COISAS COM ESP8266, ARDUINO E RASPBERRY PI**. Primeira. ed. [S.l.]: Novatec, 2017.
- 23 Arduino® MKR WiFi 1010. [S.l.]. 2024.
- 24 DOS SANTOS, D. V. et al. Learning.cpp Uma apostila de introdução à programação em C++. [S.l.]: Programa de Educação Tutorial - Engenharia Elétrica, 2022. p. 10-11.
- 25 TARGA, M. S.; SILVA, M. C.; CEZAR, V. R. S. USO DE MICROCONTROLADOR ARDUINO PARA A DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO. **Revista Técnica de Ciências Ambientais**, 30 dez. 2019.
- 26 ELIAS, G.; LOBATO, L. C. **Arquitetura e Protocolos de Rede TCP-IP**. Rio de Janeiro: Escola Superior de Redes, RNP, 2013.
- 27 SALLES, R. P. D. S. **SISTEMA SUPERVISÓRIO DE AUTOMAÇÃO VIA PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO MODBUS TCP/IP**. UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ. Taubaté. 2018.
- 28 ALICE, A.; ARRUDA, M. HTTP: um guia completo sobre o que é e como funciona o protocolo da web. **alura**. Disponível em: <<https://www.alura.com.br/artigos/http#infraestrutura-de-comunicacao-http>>. Acesso em: 27 Junho 2024.
- 29 FREECAD Seu próprio modelador paramétrico 3D. **FreeCAD**. Disponível em: <[https://www.freecad.org/index.php?lang=pt\\_BR](https://www.freecad.org/index.php?lang=pt_BR)>. Acesso em: mar. 2024.
- 30 3DLAB. **3DLAB Soluções em impressão 3D**. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/pla-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-filamento-pla/>>. Acesso em: mar. 2024.
- 31 PACHECO, W. F. et al. Voltamérias: Uma Breve Revisão Sobre os Conceitos. **Revista Virtual de Química**, 12 Agosto 2013.
- 32 BRETT, A. M. O.; BRETT, C. M. A. **ELECTROQUÍMICA PRINCÍPIOS, MÉTODOS E APLICAÇÕES**. Coimbra: LIVRARIA ALMEDINA , 1996.
- 33 PACHECO, W. F. et al. Voltametrias: Uma Breve Revisão Sobre os Conceitos. **Revista Virtual de Química**, 12 Agosto 2013.

34 FONSECA, G. C. D. **DESENVOLVIMENTO DE CÉLULA ELETROQUÍMICA E ELETRODO DE TRABALHO IMPRESSOS PARA DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO INDOL-3-ACÉTICO**. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE. Rio Verde. 2022.

35 © 2024 PALMSENS. MethodSCRIPT. **PalmSens**, 2024. Disponível em: <<https://www.palmsens.com/methodscript/>>. Acesso em: 17 junho 2024.

36 DE ALMEIDA, P. B. et al. Lab-on-a-Drone: remote voltammetric analysis of lead in water with real-time data transmission. **Analytical Methods**.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Código para teste de vazão da microbomba d'água.

```
#include <Arduino.h>
#include <WiFiNINA.h>
#include <Math.h>
#include "arduino_secrets.h"
//Informações sobre a rede local na qual a placa será conectada, a saber: SSID e senha; que estão em arquivo "arduino_secrets.h"
char ssid[] = SECRET_SSID;
char pass[] = SECRET_PASS;
int keyIndex = 0;
int status = WL_IDLE_STATUS;
// Porta do web server
WiFiServer server(80);
// Esse comando obterá dados de um cliente que esteja conectado ao servidor web e com dados para leitura
WiFiClient client = server.available();

// Definição da variáveis que serão utilizadas
int Vs= 6;    // Vavula solenoide
int Bd= 8;    // Micrombomba d'água
int meiominuto=0;
int quarentaecincosegundos=0;
int umminuto=0;
int primeiro30=1;
int primeiro45=1;
int primeiro60=1;

void setup(){
  Serial.begin(230400);
  pinMode(Bd, OUTPUT);
  pinMode(Vs,OUTPUT);

  // Conexão com Wifi
  while(status !=WL_CONNECTED)
  {
    Serial.print("Tentando se conectar a rede: ");
    Serial.print(ssid);
    Serial.println();
    status=WiFi.begin(ssid,pass);
    delay(500);
  }
  Serial.print("Dispositivo conectado a Rede: ");
  Serial.print(ssid);
  Serial.println();
  Serial.print("O endereço ip da placa eh: ");
  Serial.print(WiFi.localIP());
  server.begin();
}
```

```

void loop()
{
  if((meiominuto==1)&&(primeiro30==1)){
digitalWrite(Bd, HIGH);
delay(30000);
digitalWrite(Bd,LOW);
meiominuto=0;
primeiro30=0;
  }
  if((quarentaecincosegundos==1)&&(primeiro45==1)){
digitalWrite(Bd, HIGH);
delay(45000);
digitalWrite(Bd,LOW);
quarentaecincosegundos=0;
primeiro45=0;
  }
  if((umminuto==1)&&(primeiro60==1)){
digitalWrite(Bd, HIGH);
delay(60000);
digitalWrite(Bd,LOW);
umminuto=0;
primeiro60=0;
  }

  client = server.available();
  if (client) {
    WebPage();
  }
}

void WebPage() {
  if (client) {
    String currentLine = "";
    while (client.connected()) {
      if (client.available()) {
        char t = client.read();
        Serial.write(t);
        if (t == '\n') {
          if (currentLine.length() == 0) {
            client.println("HTTP/1.1 200 OK");
            client.println("Content-type:text/html");
            client.println();
            // Texto enviado está estruturado em html, fazendo-se necessário estruturar a forma como a mensagem e os links serão exibidos
            client.print("<b>Sampling and analysis system </b>");
            client.print("<br><br><br>");
            client.print("The Micro Water Pump");
            client.print("<br>");
            client.print("<a href='\"/H/\"'><button style='background: #0C5934; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff; border: none; font-size: 16px;'>Ligar por 30 s</button></a>");
            client.print("<a href='\"/L/\"'><button style='background: #0C5934; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff; border: none; font-size: 16px;'>Ligar por 45 s</button></a>");
          }
        }
      }
    }
  }
}

```

```

client.print("<a href='\"/F\"'><button style='background: #0C5934; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff; border: none; font-size: 16px;'>Ligar por 60 s</button></a>");
    client.print("<a href='\"/J\"'><button style='background: #0C5934; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff; border: none; font-size: 16px;'>Reiniciar</button></a>");

    client.println();
    break;
}
else {
    currentLine = "";
}
}
else if (t != '\r') {
    currentLine += t;
}

if (currentLine.endsWith("GET /H")) {
    meiominuto=1;
}
if (currentLine.endsWith("GET /L")) {
    quarentaecincosegundos=1;
}
if (currentLine.endsWith("GET /F")) {
    umminuto=1;
}
if (currentLine.endsWith("GET /J")) {
    primeiro30=1;
    primeiro45=1;
    primeiro60=1;
}
}
}
client.stop();
Serial.println("client disconnected");
}
}

```

## APÊNDICE B - Código final para controle do sistema de coleta e análise.

```

#include <Arduino.h>
#include <WiFinINA.h>
#include <Math.h>
#include "arduino_secrets.h"
// Inclusão de bibliotecas externas para utilizar o potenciostato
extern "C" {
    #include <MSComm.h>
    #include <MathHelpers.h>
};
//Informações sobre a rede local na qual a placa será conectada, a saber: SSID e senha; que estão em arquivo "arduino_secrets.h"
char ssid[] = SECRET_SSID;
char pass[] = SECRET_PASS;
int keyIndex = 0;
int status = WL_IDLE_STATUS;

// Porta do web server
WiFiServer server(80);

// Esse comando obterá dados de um cliente que esteja conectado ao servidor web e com dados para leitura
WiFiClient client = server.available();

// Definição da variáveis que serão utilizadas
int Vs= 6; // Vavula solenoide
int Bd= 7; // Micrombomba d'água

// Segunda Etapa: Variáveis que armazenarão os valores de tensão e corrente aferidos via potenciostato
String corrente; // Variável que armazena o valor atual de corrente medido pelo potenciostato, em cada subpacote
String potencial; // Variável que armazena o valor de potencial aplicado pelo potenciostato, em cada subpacote
int _nDataPoints = 0;
char _versionString[30];
int x=0;
int dispositivo=23;
int package_nr = 0;
String valorpotencial [350]; // Vetor string criado com a finalidade de armazenar os valores de potencial aplicados durante a voltametria
String valorcorrente[350]; // Vetor string criado com a finalidade de armazenar os valores de corrente medidos durante a voltametria
int nm=0;
int contagem=0;
int voltametria=1; //Variável cuja finalidade é identificar se o comando remoto para início da análise eletroquímica foi acionado
int analise=0; // Variável que será utilizada como gatilho para iniciar a análise eletroquímica
String maxcorrente= "0.9999999999999999"; // O valor desta variável será atualizado com o valor real da corrente de pico medida na
//voltametria
String maxpotencial; // Esta variável armazenará o valor potencial de pico
float correntedepico; // Armazena o maior valor de corrente medido na voltametria

```

```

#define DEMO_SELECT 0
static bool s_printSent = false;
static bool s_printReceived = false;
const char* CMD_VERSION_STRING = "\n";

// Primeira Etapa: Algoritmo em MethodScript para definição de parâmetros e da técnica eletroquímica utilizada na análise, excerto
//extraído via software PSTrace
const char* ASSWV ="e\n"
"var c\n"
"var p\n"
"var f\n"
"var g\n"
"set_pgstat_chan 1\n"
"set_pgstat_mode 0\n"
"set_pgstat_chan 0\n"
"set_pgstat_mode 2\n"
"set_max_bandwidth 80\n"
"set_pot_range -1 -100m\n"
"set_cr 4609375p\n"
"set_autoranging 59n 2950u\n"
"cell_on\n"
"meas_loop_ca p c -1 500m 120\n"
"pck_start\n"
"pck_add p\n"
"pck_add c\n"
"pck_end\n"
"endloop\n"
"meas_loop_swv p c f g -800m -200m 5m 50m 10\n"
"pck_start\n"
"pck_add p\n"
"pck_add c\n"
"pck_add f\n"
"pck_add g\n"
"pck_end\n"
"endloop\n"
"on_finished:\n"
"cell_off\n\n";

MSComm _msComm;

// Funções serão usadas em RetCode
int write_wrapper(char c)
{
    if(s_printSent == true)
    {
        Serial.write(c);
    }
    return Serial1.write(c);
}

```

```

int read_wrapper()
{
    int c = Serial1.read();
    if((s_printReceived == true) && (c != -1))
    {
        Serial.write(c);
    }
    return c;
}

// Função de verificação do Emstat pico
int VerifyESPico()
{
    int i = 0;
    int isConnected = 0;
    RetCode code;

    SendScriptToDevice(CMD_VERSION_STRING);
    while (!Serial1.available());
    while (Serial1.available())
    {
        code = ReadBuf(&_msComm, _versionString);
        if(code == CODE_VERSION_RESPONSE)
        {
            if(strstr(_versionString, "espbl") != NULL)
            {
                Serial.println("EmStat Pico is connected in boot loader mode.");
                isConnected = 0;
            }
            else if(strstr(_versionString, "espico") != NULL)
            {
                Serial.println("Conectado ao EmStat Pico");
                isConnected = 1;
            }
            else if(strstr(_versionString, "*\n") != NULL)
            {
                break;
            }
            else
            {
                Serial.println("Connected device is not EmStat Pico");
                isConnected = 0;
            }
        }
        delay(20);
    }
    dispositivo=isConnected;
    return isConnected;
}

```

```

void SendScriptToDevice(const char* scriptText)
{
    WriteStr(&_msComm, scriptText);
}

// Função para averiguar quais são os dados enviados pelo potenciostato, e armazenar nas variáveis designadas
void PrintSubpackage(const MscrSubPackage subpackage)
{
    switch(subpackage.variable_type) {
        case MSCR_VT_POTENTIAL:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_CE:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_SE:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_RE:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_GENERIC1:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_GENERIC2:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_GENERIC3:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_GENERIC4:
        case MSCR_VT_POTENTIAL_WE_VS_CE:
            Serial.print("\tE[V]: ");
            Serial.print(sci(subpackage.value, 3));
            break;
        case MSCR_VT_CURRENT:
        case MSCR_VT_CURRENT_GENERIC1:
        case MSCR_VT_CURRENT_GENERIC2:
        case MSCR_VT_CURRENT_GENERIC3:
        case MSCR_VT_CURRENT_GENERIC4:
            Serial.print("\tI[A]: ");
            corrente =(sci(subpackage.value, 3));
            Serial.print(corrente);
            break;
        case MSCR_VT_ZREAL:
            Serial.print("\tZreal[Ohm]:");
            Serial.print(sci(subpackage.value, 3));
            break;
        case MSCR_VT_ZIMAG:
            Serial.print("\tZimag[Ohm]");
            Serial.print(sci(subpackage.value, 3));
            break;
        case MSCR_VT_CELL_SET_POTENTIAL:
            Serial.print("\tE set[V]: ");
            potencial=(sci(subpackage.value, 3));
            Serial.print(potencial);
            break;
        case MSCR_VT_CELL_SET_CURRENT:
            Serial.print("\tI set[A]: ");
            Serial.print(sci(subpackage.value, 3));
            break;
        case MSCR_VT_CELL_SET_FREQUENCY:
            Serial.print("\tF set[Hz]: ");
            Serial.print(sci(subpackage.value, 3));
            break;
    }
}

```

```

case MSCR_VT_CELL_SET_AMPLITUDE:
    Serial.print("\tA set[V]: ");
    Serial.print(sci(subpackage.value, 2));
    break;
case MSCR_VT_UNKNOWN:
    default:
char formatted_srt[64];
    snprintf(formatted_srt, 64, "\t?%d?[?] %16.3f ", subpackage.variable_type, subpackage.value);
    Serial.print(formatted_srt);
}
if (subpackage.metadata.status >= 0)
{
    const char *status_str;
    if (subpackage.metadata.status == 0)
    {
        status_str = StatusToString((Status)0);
    }
    else
    {
        for (int i = 0; i < 31; i++)
        {
            if ((subpackage.metadata.status & (1 << i)) != 0)
            {
                status_str = StatusToString((Status)(1 << i));
                break;
            }
        }
    }
    char formatted_srt[64];
    snprintf(formatted_srt, 64, "status: %-16s \t", status_str);
    Serial.print(formatted_srt);
}
if (subpackage.metadata.current_range >= 0)
{
    const char *current_range_str = current_range_to_string(subpackage.metadata.current_range);
    char formatted_srt[64];
    snprintf(formatted_srt, 64, "CR: %-20s \t", current_range_str);
    Serial.print(formatted_srt);
}
}

// Função Setup, que é chamada apenas uma vez durante o programa
void setup()
{
    Serial.begin(230400);

    pinMode(Vs, OUTPUT); //Configura "Vs" como pino de saída de sinal digital

```

```

pinMode(Bd, OUTPUT); //Configura "Bd" como pino de saída de sinal digital

// Conexão com Wifi
while(status !=WL_CONNECTED)
{
  Serial.print("Tentando se conectar a rede: ");
  Serial.print(ssid);
  Serial.println();
  status=WiFi.begin(ssid,pass);
  delay(500);
}
Serial.print("Dispositivo conectado a Rede: ");
Serial.print(ssid);
Serial.println();
Serial.print("O endereço ip da placa eh: ");
Serial.print(WiFi.localIP());
server.begin();
}
void loop()
{
  if (analise == voltametria){
    // O pino "análise" inicia em zero e somente quando a voltametria for acionada será igual a 1, a variável "voltametria" inicia em zero e
    //quando o botão de análise for acionado passa a ser um. Portanto, o único momento em que "voltametria" é diferente de "análise" é a
    //primeira vez que o pino de análise é acionado.
    voltametria=0;
    delay(100);
    Serial.println(voltametria);
    Serial1.begin(230400);
    if(s_printReceived == true)
    {
      Serial.println("s_printReceived");
    }
    RetCode code = MSCCommInit(&_msComm, &write_wrapper, &read_wrapper);
    if( code == CODE_OK)
    {
      if(VerifyESPico())
      {
        #if DEMO_SELECT == 0
        SendScriptToDevice(ASSWV);
        #endif
      }
    }
    delay(100);
  }
}

```

```

MscrPackage package;
char current[20];
char readingStatus[16];
while (Serial1.available())
{
  RetCode code = ReceivePackage(&_msComm, &package);
  switch(code)
  {
    case CODE_RESPONSE_BEGIN:
      Serial.println();
      Serial.print("Response begin");
      Serial.println();
      break;
    case CODE_MEASURING:
      Serial.println();
      Serial.print("Measuring...");
      Serial.println();
      package_nr = 0;
      break;
    case CODE_OK:
      if(package_nr == 0)
      {
        Serial.println();
        Serial.print("Receiving measurement response:\n");
      }
      Serial.print(package_nr + 1);
      for (int i = 0; i < package.nr_of_subpackages; i++){
        PrintSubpackage(package.subpackages[i]);
        if (nm>239){
          //Haja vista a utilização da técnica de voltametria de onda quadrada com redissolução anódica,
          //de acordo com os parâmetros postos, haverá envio de 239 dados de tensão e corrente referentes a etapa de pré-concentração.
          //Esses primeiros 239 dados não terão significado na constituição do voltamograma.
          if(i==0){
            valorpotencial[contagem]=potencial;
          }
          if(i==1){
            valorcorrente[contagem]=corrente;
            if(valorcorrente[contagem].substring(0,1)!="-"){
              if(valorcorrente[contagem].substring(7,9)<maxcorrente.substring(7,9)){
                maxcorrente=valorcorrente[contagem];
                maxpotencial=valorpotencial[contagem];
              }
              if(valorcorrente[contagem].substring(7,9)==maxcorrente.substring(7,9)){
                if(valorcorrente[contagem].substring(0,5)>maxcorrente.substring(0,5)){
                  maxcorrente=valorcorrente[contagem];
                  maxpotencial=valorpotencial[contagem];
                }
              }
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}

```

```

contagem=contagem +1;
}
}
}
nm=nm+package.nr_of_subpackages-1;
Serial.println();
package_nr++;
break;
case CODE_MEASUREMENT_DONE:
Serial.print("\nMeasurement completed.");
Serial.println();
break;
case CODE_RESPONSE_END:
Serial.print(package_nr);
Serial.print(" data point(s) received");
break;
default:
Serial.println();
Serial.print("Failed to parse package: ");
Serial.print(code);
Serial.println();
}
}
client = server.available();
if (client) {
WebPage();
}
}
// Função para criação e estruturação de servidor WEB
void WebPage() {
if (client) {
String currentLine = "";
while (client.connected()) {
if (client.available()) {
char t = client.read();
Serial.write(t);
if (t == '\n') {
if (currentLine.length() == 0) {
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-type:text/html");
client.println();
// Depois de informar que o texto enviado está estruturado em html, faz-se necessário estruturar a forma como a mensagem e os links
//serão exibidos
client.print("<b>Sampling and analysis system </b>");
client.print("<br><br><br>");
client.print("The Micro Water Pump");
client.print("<br>");
client.print("<a href='\"/H'\"><button style='background: #0C5934; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff;border: none; font-size: 16px;'>Turn On</button></a>");
client.print("<a href='\"/L'\"><button style='background: #962F2F; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff;border: none; font-size: 16px;'>Turn Off</button></a>");
client.print("<br>");

```

```

if(digitalRead(Bd)==HIGH){
  client.print("The Micro Water Pump is <b>activated</b><br><br><br>");
}
else{
  client.print("The Micro Water Pump is <b>deactivated</b><br><br><br>");
}
client.print("<br>");
client.print("The Solenoid Valve");
client.print("<br>");
client.print("<a href='\"/F\"'><button style='background: #0C5934; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff;border: none; font-size: 16px;'>Turn On</button></a>");
client.print("<a href='\"/D\"'><button style='background: #962F2F; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff;border: none; font-size: 16px;'>Turn Off</button></a>");
client.print("<br>");
if(digitalRead(Vs)==HIGH){
  client.print("The Solenoid Valve is<b> activated</b><br><br><br>");
}
else{
  client.print("The Solenoid Valve is<b> deactivated</b><br><br><br>");
}
client.print("<br>");
client.print("The Electrochemical Analysis");
client.print("<br>");
client.print("<a href='\"/I\"'><button style='background: #069cc2; border-radius: 6px; padding: 15px; cursor: pointer; color: #fff;border: none; font-size: 16px;'>Start Voltammetry</button></a>");
client.print("<br><br>");
if(analise==1){
  if(dispositivo==1){
    client.print("Connected to EmStat Pico");
  }
  if(dispositivo==0){
    client.print("Connected device is not EmStat Pico");
  }
}
client.println("<br>");
client.print("Data measured using square wave voltammetry <br><br>");
for( int k=0; k<125; k++){
  client.print((k+1));
  client.print(" Potential(V): ");
  client.print(valorpotencial[k]);
  client.print(" Current(A) : ");
  client.print(valorcorrente[k]);
  client.println("<br>");
}
client.print(" Measured peak current (A): ");
client.print(maxcorrente);
client.println("<br>");
client.print(" Peak potential (V): ");
client.print(maxpotencial);
client.println("<br>");
}

```

```
    client.println();
    break;

}
else {
    currentLine = "";

}

}

else if (t != '\r') {
    currentLine += t;

}

if (currentLine.endsWith("GET /H")) {
    digitalWrite(Bd, HIGH);

}

if (currentLine.endsWith("GET /L")) {
    digitalWrite(Bd, LOW);

}

if (currentLine.endsWith("GET /F")) {
    digitalWrite(Vs, HIGH);

}

if (currentLine.endsWith("GET /D")) {
    digitalWrite(Vs, LOW);

}

if (currentLine.endsWith("GET /I")) {
    analyse=1;

}

}

}

client.stop();
Serial.println("client disconnected");

}

}
```