

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE  
DO NORTE CAMPUS NATAL - ZONA NORTE  
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM ELETRÔNICA

ANA CLARA COSTA DE CASTRO  
DAVID LUCAS VIANA GARCIA  
GLAUBER VINÍCIUS PEREIRA FRANÇA DE LIMA

**CONTROLE AUTOMÁTICO DE PH PARA O PROCESSO DE ECLOSÃO DE  
ARTEMÍAS**

NATAL/RN  
MARÇO/2021

ANA CLARA COSTA DE CASTRO  
DAVID LUCAS VIANA GARCIA  
GLAUBER VINÍCIUS PEREIRA FRANÇA DE LIMA

**CONTROLE AUTOMÁTICO DE PH PARA O PROCESSO DE ECLOSÃO DE  
ARTEMIAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Técnico Integrado em Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Guerra Vale da Fonseca

NATAL/RN  
2021

ANA CLARA COSTA DE CASTRO  
DAVID LUCAS VIANA GARCIA  
GLAUBER VINÍCIUS PEREIRA FRANÇA DE LIMA

**CONTROLE AUTOMÁTICO DE PH PARA O PROCESSO DE ECLOSÃO DE  
ARTEMIAS**

Relatório de Prática Profissional apresentado ao Curso Técnico Integrado em Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial para a obtenção do título de Técnico em Eletrônica.

Aprovado em:     /     /

Nota Final:

---

Professor Dr. Daniel Guerra Vale da Fonseca  
Orientador e Coordenador do Curso Técnico Integrado em Eletrônica  
Matrícula: 1281383

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, em primeiro lugar, a Deus, mesmo sabendo que a nossa mais genuína gratidão ainda é insuficiente diante de tudo que Ele fez e faz por nós. Reconhecemos que sem as suas coroações diárias de amor e bondade, não seríamos nada.

Aos nossos pais, que sempre nos incentivaram a lutarmos pelos nossos sonhos e não mediram esforços para nos oferecer uma vida com todo apoio e acolhimento possível. Com exemplos diários de integridade e dedicação, formaram cidadãos e, sobretudo, seres humanos comprometidos com o respeito.

Ao nosso orientador e amigo, o Professor Dr. Daniel Guerra Vale da Fonseca, que durante o desenvolvimento deste projeto, apesar dos inumeráveis obstáculos que se fizeram presentes na tentativa de nos estagnar, dedicou-se com tamanha empatia às nossas solicitações. Lecionou os seus conhecimentos com paciência, sempre acreditando no nosso potencial.

Ao professor Dr. Roberto Rodrigues Cunha Lima, orientador da nossa pesquisa na área da química que serviu como base para este projeto, por nos guiar, ao longo de quatro anos, nos caminhos da ciência. Seus ensinamentos reafirmaram o poder inexprimível que a educação possui de transformar o nosso mundo.

Ao professor Alysson Paulo Holanda Lima que, apesar do cenário pandêmico, foi um profissional incrível nas aulas do formato remoto, o que tornou possível o desenvolvimento do trabalho. Aos ex-professores, dedicamos carinho e respeito, especialmente a Evaldo Pulcinelli, Aylanna Oliveira, Rafael Medeiros, Neto Prudente e Luiz Roberto por terem sido impulsionadores do nosso amadurecimento pessoal, acadêmico e profissional.

Aos amigos - Carlos Reginaldo, Emili Soares, Gabrielly Talita e Vitor Rubens - que estiveram presentes nas alegrias, ansiedades, tristezas e conquistas, dedicamos toda nossa gratidão pelos laços que aperfeiçoamos. Além deles, a Jordan Marques, pela amizade, cumplicidade e pelo apoio inesgotável a fim de trazer à realidade o presente trabalho.

Por fim, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) - Campus Natal - Zona Norte, por ter sido nosso segundo lar e por ser, bem como escreveu Rubem Alves, asas. A instituição fez da nossa caminhada a mais inesquecível possível e nos moldou para sermos excepcionais em todos os âmbitos das nossas vidas.

## RESUMO

Artemias Salinas são microcrustáceos bastante utilizados como alimentos para peixes e facilmente encontrados em lojas de aquário, mas no meio técnico-científico as artemias vem ganhando bastante espaço e sendo cada vez mais requisitadas pelo fato de agirem como um bioindicador natural utilizado em testes de letalidade/toxicidade, visto que é um método barato, eficaz e rápido de ser utilizado. Nessa perspectiva, a partir da análise dessas pesquisas, foi observado que, para a eclosão dos Náuplios (cistos de artemia), existe um processo com poucas etapas, mas que requer um grande cuidado para que o meio onde as artemias estejam seja favorável à eclosão dos cistos. Considerando o ajuste de pH da água (processo que solicita um maior cuidado, custo e tempo), foi percebido que há a necessidade de um método para facilitar e garantir a sua eficiência. Visando isso, este projeto utiliza a automação no controle de pH para eclosão dos microcrustáceos, para melhorar o desempenho e reduzir o tempo utilizado de forma improdutiva, além de ser um meio de padronizar e garantir a qualidade de cada estágio. Portanto, é proposta a utilização de um sensor de pH, juntamente com uma bomba d'água, para o controle da escala de alcalinidade, a fim de ajustar o meio para permitir a eclosão das artemias. Além disso, é realizado o controle da iluminação por meio de uma fita de led, também necessária para que a eclosão ocorra corretamente.

**Palavras-chave:** Artemias Salinas. Automação. pH. Controle.

## ABSTRACT

Saline brine shrimp are widely used as fish feed and easily found in aquarium stores, but in the scientific-technical field brine shrimp are gaining a lot of space and are increasingly in demand because they act as a natural bioindicator used in lethality/toxicity tests, as it is a cheap, effective and quick method to use. From the analysis of these studies, it was observed that there is a process for the hatching of the Nauplii (*Artemia* cysts) with a few steps, but yet, it requires great care, so that the environment is favorable to the hatching of the cysts. Considering that the water's pH adjustment process requires greater care, cost and time, it was realized that there is a need for a method to facilitate and ensure its efficiency. Aiming at this, this project utilizes automation in pH control for hatching of micro crustaceans to improve performance and reduce unused time, as well as a way to standardizing and ensuring the quality of each stage. Hence, this project proposes the use of a pH sensor together with a water pump to control the alkalinity scale in order to adjust the environment to allow the hatching of the brine shrimp. In addition, lightning is controlled using a led strip, which is also necessary for hatching to occur correctly.

**Keywords:** Saline brine shrimp. Automation. pH. Control.

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Artemia Salina.....	9
Figura 2- Metodologia de Meyer.....	10
Figura 3 - Sensor de pH.....	14
Figura 4 – <i>Trimpot</i> .....	15
Figura 5 - Arduino Uno.....	16
Figura 6 - Mini bomba d'água.....	17
Figura 7 – Motor.....	17
Figura 8 - Sistema para eclosão dos cistos de artemia.....	18
Figura 9 - Fita de pH e água do mar com pH ajustado.....	19
Figura 10 - Código Arduino.....	20
Figura 11 – Ajustes com soluções padrão.....	21
Figura 12 – Exemplo de solução padrão de pH para calibração.....	21
Figura 13 - Teste do sensor de pH com refrigerante.....	22
Figura 14 - Protótipo inicial.....	23
Figura 15 - Código para acionamento da bomba e do motor, gotejamento do NaOH.....	24
Figura 16 - Código do acionamento da bomba e do motor, gotejamento do HCl.....	25
Figura 17 - Código do acionamento do sistema de iluminação.....	25
Figura 18 - Funcionamento do sistema automatizado.....	26
Figura 19 - Hardware do circuito do projeto em estado inicial na plataforma de simulação...	27
Figura 20 - Funcionamento do circuito para pH maior que limite superior estabelecido.....	28
Figura 21 - Funcionamento do circuito para pH menor que o limite inferior estabelecido.....	28
Figura 22 - Funcionamento do circuito com pH regulado na faixa estabelecida.....	29

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	9
1.1. OBJETIVOS	11
1.1.1. Objetivo geral	11
1.1.2. Objetivos específicos	11
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	13
2.1. SENSOR DE PH	14
2.1.1. <i>Trimpot</i>	15
2.2. ARDUINO®	15
2.2.1. <b>Arduino Uno</b>	16
2.3. BOMBA D'ÁGUA	17
2.4. MOTOR	17
<b>3. METODOLOGIA</b>	18
3.1. CONFECÇÃO DA CAIXA PARA ECLOSÃO DAS ARTEMIAS	18
3.2. ANÁLISE DO MÉTODO COMUM DE AJUSTE DO PH	18
3.3. AJUSTES DO SENSOR DE PH	19
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	23
4.1. SISTEMA AUTOMÁTICO PARA O PROCESSO DE ECLOSÃO DAS ARTEMIAS	23
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	30
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	31
<b>ANEXO A – CÓDIGO DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE PH</b>	33
<b>APÊNDICE A – CÓDIGO COMPLETO DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO</b>	43

## 1. INTRODUÇÃO

É indubitável que a água é um recurso essencial para a manutenção da vida. Sua grande importância deve-se às suas funções fundamentais dentro dos ecossistemas e para as atividades humanas. Portanto, a qualidade da água interfere no equilíbrio e na dinâmica ambiental, na saúde e na sobrevivência das populações e na economia das sociedades humanas (BECCATO, 2004). A poluição caracteriza-se como qualquer alteração física, química ou biológica que modifica a fauna e a flora do meio. Desse modo, a poluição aquática é uma das mais preocupantes, pois provoca mudanças nas características físicas, químicas e biológicas das águas, chegando a interferir na sua qualidade e impossibilitando o seu uso para o consumo humano (AGUIAR e NOVAES, 2002). Para tanto, testes de citotoxicidade<sup>1</sup> visam estudar, quantificar e classificar os impactos causados por um poluente em organismos vivos, a fim de desenvolver normas que regulem e mitiguem os danos causados a partir do lançamento de poluentes em diversos ambientes, mas, em específico, na água.

A *Artemia Salina* (Figura 1) é um microcrustáceo, da ordem Anostraca (sem carapaça), encontrado em águas salgadas, bastante utilizada como alimento vivo para peixes e seus ovos são comumente encontrados em lojas de aquário.

Figura 1 – *Artemia Salina*.



Fonte: Site do Pinterest<sup>2</sup>.

A utilização dessa espécie vem sendo muito recorrente em experimentos laboratoriais, tendo função de bioindicador. Popularizou-se ao longo da história o uso de alguns animais, a

---

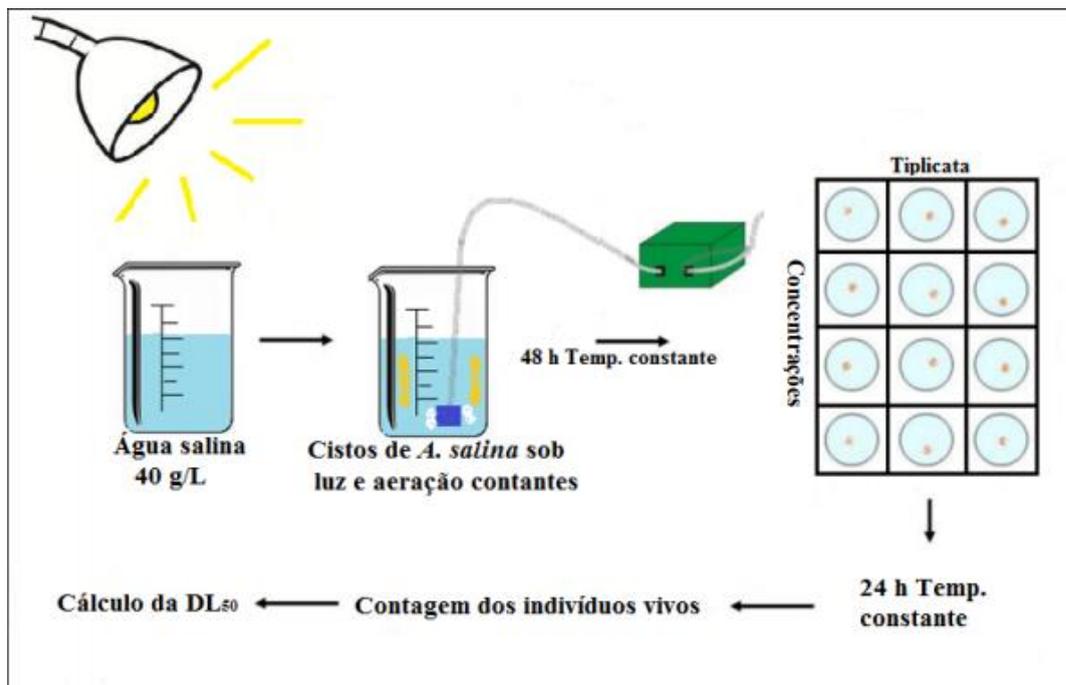
<sup>1</sup> A citotoxicidade é a propriedade nociva de uma substância em relação às células.

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/400961173078414455/>> Acesso em: 27/02/2021

exemplo dos ratos, na realização de testes de citotoxicidade para o desenvolvimento de projetos e experimentos de pesquisa. Contudo, esse modelo apresenta desvantagem frente à elevada quantidade de amostras e, conseqüentemente, ao custo exacerbado (RIOS, 1995). Justifica-se, assim, o uso das artemias no ambiente científico, uma vez que essas apresentam não só uma resposta nítida diante das alterações qualitativas do ambiente (ABEL, 1989), mas também são de ótimo custo-benefício e de prático manuseio e cultivo. Sendo assim, o teste de citotoxicidade tendo a artemia como bioindicador é um método eficaz, rápido e barato em comparação a outros (CARVALHO; MATTA; MELO; ANDRADE; CARVALHO; NASCIMENTO.; SILVA; ROSA, 2009).

A metodologia proposta por Meyer (1982), representada pela Figura 2, apresentou-se de maneira recorrente nos métodos utilizados para eclosão dos cistos de artemias e ensaios de letalidade encontrados nos seguintes artigos científicos estudados: Maia, Nascimento, Vidal e Cavalcante (2018); Moreira (2013); Bueno e Piovezan (2015).

Figura 2- Metodologia de Meyer.



Fonte: MOREIRA, Layssa Aparecida (2013).

A metodologia proposta pelo cientista e seus colaboradores pode ser considerada como um parâmetro para determinação da relação existente entre a atividade tóxica sobre as

artemias e, por exemplo, o grau de toxicidade<sup>3</sup> existente em seiva de plantas. A técnica consiste, em suma, na preparação de uma solução salina a uma concentração de 40 gL<sup>-1</sup>. Em seguida, já com os cistos submersos, há a aeração e iluminação constante da mistura durante todo o período de eclosão e maturação dos cistos.

Após todo o processo de desenvolvimento dos náuplios (cistos de artemias), estes são colocados em tubos de ensaio, contendo uma baixa concentração do agente do qual se deseja descobrir o grau de toxicidade. Posteriormente, é feita a observação das artemias durante um período de 24h à temperatura constante. A partir disso, é possível calcular, de acordo com o número de indivíduos vivos, a dose letal média do agente. A dose letal média estabelecida por Meyer e seus colaboradores, foi apresentada pela ação de extratos de plantas sobre os microcrustáceos, definindo valores abaixo de 1000 µg mL<sup>-1</sup> como tóxicos e acima de 1000 µg mL<sup>-1</sup> como atóxicos (MEYER; FERRIGNI; PUTNAM; JACOBSEN; NICHOLS, 1982).

Por conseguinte, em razão do uso corriqueiro dos náuplios de artemias nas pesquisas desenvolvidas no IFRN – Campus Natal – Zona Norte e da recorrente aplicação metodológica de Meyer, encontrou-se a possibilidade de otimização e aprimoramento do processo aliado à eletrônica. Nesse sentido, o processo manual que visa atingir o pH ideal da água demanda tempo e verba possíveis de serem poupados. Por exemplo, fazia-se necessário o uso de fitas de pH - adquiridas burocraticamente através de licitações - as quais são responsáveis por encarecer o procedimento, em função do seu valor de mercado e do uso repetitivo, uma vez que o pH da água deve ser observado e consultado até que se atinja o valor esperado. Logo, percebe-se a automação como ferramenta crucial para minimizar alguns impasses encontrados, mantendo sempre a segurança, a qualidade e o custo-benefício.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

Objetiva-se desenvolver um protótipo capaz de tornar automático o controle do pH da água e o acionamento do sistema de iluminação, a fim de assegurar otimização no processo de eclosão dos cistos de Artemias Salinas.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Garantir a eficiência do controle de pH e a operação do esquema de luminosidade;

---

<sup>3</sup> A toxicidade é a medida do potencial tóxico de uma substância.

- Reduzir os custos e o tempo gastos no processo, ao poupar o manuseio de fitas de pH e de soluções químicas;
- Desenvolver circuito eletrônico para acionamento de bombas d'água para gotejamento de solução ácida e básica;
- Desenvolver circuito eletrônico para acionamento de motor CC para homogeneização das soluções gotejadas com a água do mar;
- Desenvolver circuito eletrônico para acionamento de fita de LED;
- Desenvolver lógica de programação para controle de todo o sistema de acionamentos;
- Tornar padrão o uso de um protótipo rentável, inovador e eficiente no Laboratório de Pesquisa em Recursos Naturais (Lapern), a fim de auxiliar as pesquisas, desenvolvidas no IFRN – Campus Natal – Zona Norte, que utilizam artemias como bioindicador.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Revolução Industrial foi um marco histórico que modificou a relação do homem com os recursos naturais ao impulsionar exponencialmente a intervenção humana e, conseqüentemente, os índices de resíduos e poluição no meio ambiente. Sob essa perspectiva, depreende-se a pertinência dos estudos da toxicologia na contemporaneidade, visto que essa ciência atenta-se na pesquisa dos efeitos nefastos de determinadas substâncias para organismos vivos - desde alterações genéticas até casos de letalidade. À luz desse prisma, desenvolveu-se ao longo da história técnicas de avaliação toxicológica a partir de bioensaios com microorganismos e animais de laboratório, visando avaliar as interações e os efeitos das substâncias (BUENO e PIOVEZAN, 2015).

Em decorrência disto, popularizou-se o uso de microcrustáceos, da espécie *Artemia Salina*, em testes de toxicidade, já que essa técnica configura-se de baixo consumo financeiro, alta praticidade e de fácil reprodutibilidade (BUENO e PIOVEZAN, 2015). Embora as últimas décadas tenham sido marcadas pelo avanço tecnológico e pela presença da automação nas diversas ciências do conhecimento, o processo manual de aplicação desse bioindicador permanece relevante nos ensaios científicos (MAIA et al, 2018). Por isso, ainda que diversos estudos façam uso das artemias em experimentos de citotoxicidade, notou-se uma infeliz inexistência da aplicação de conhecimentos da eletrônica, a exemplo da automação, com o objetivo de baratear e potencializar a produtividade.

A automação pode ser definida por um sistema onde o trabalho humano é substituído pela utilização de computadores e/ou dispositivos mecânicos capazes de medir, transmitir, controlar e executar etapas dentro de um processo (HOUAISS, 2004). Além disso, a automação traz como principais objetivos a maximização e aprimoramento da produção, assegurando qualidade, ao passo que reduz a interferência humana e, em consequência, garante sua segurança (AMÉRICO; AZEVEDO; SOUZA, 2011).

Num hodierno cenário de globalização e concorrência econômica, a aplicação da automação em sistemas produtivos, em virtude da sua eficácia na otimização de processos, vem ganhando bastante espaço no meio industrial (VASCONCELLOS e GARCIA, 2012). A demanda e a exigência advinda dos clientes potencializa a necessidade, por parte das empresas, de se adequarem ao panorama atual buscando melhorias em seu método de produção. (DAVILA, 2009).

Para a construção do sistema automático, que auxilie no processo de eclosão das artemias, foram utilizados como componentes principais uma placa de prototipagem eletrônica do tipo Arduino<sup>®</sup>, duas bombas d'água submersas, um sensor de pH, um motor e uma fita de LED, descritos nas próximas seções.

## 2.1. SENSOR DE PH

O pH corresponde ao chamado potencial hidrogeniônico de uma solução, ou seja, a concentração de íons de hidrogênio (H<sup>+</sup>). A partir da medição desse potencial, é possível saber o grau de alcalinidade (dentro da faixa de 8 a 14), acidez (dentro da faixa 0 a 6) ou neutralidade de uma solução (7) (POMPEU; AMBROSANO; VILHENA, 2019).

Para a realização da medição do pH da água, foi utilizado um sensor de pH (Figura 3), pois o método mais efetivo para a medição se dá com o uso de um sistema composto por um PHmetro e um eletrodo de pH.

Segundo Muniz (2007), o funcionamento do sensor se dá a partir da diferença de potencial estabelecida entre a solução padrão de Cloreto de Potássio (KCl), encontrada no próprio eletrodo, e da solução que se deseja analisar. A tensão obtida pode ser direcionada para a placa e ser convertida, a partir da programação, dentro de uma escala de pH. Além disso, o *trimpot* associado ao módulo do sensor, que é um resistor ajustável bastante utilizado em circuitos de precisão e exatidão, permite a calibração da tensão fornecida para um valor mais próximo do que se está medindo. O uso do *datasheet* do sensor foi necessário para realizar os procedimentos iniciais de ajustes e para obtenção dos parâmetros de conversão.

Figura 3 - Sensor de pH.



Fonte: Site do Smart Kits<sup>4</sup>.

---

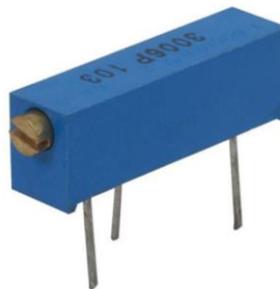
<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.smartkits.com.br/sensor-de-ph-arduino-modulo-de-leitura>> Acesso em: 27/02/2021

### 2.1.1. *Trimpot*

O *trimpot* (Figura 4), componente eletrônico de resistência ajustável, é amplamente utilizado em circuitos eletrônicos com o intuito de variar manualmente a tensão de um circuito, principalmente aqueles que exigem calibração (BENÍTEZ e ROHRICH, 2019).

Dessa maneira, o sensor de pH, colocado em contato com soluções padrão de pH, foi submetido a ajustes na resistência do seu *trimpot* - à luz das informações dispostas no *datasheet* do PHmetro acerca da correlação entre a tensão e o pH -, para que ocorresse a calibração do módulo do sensor.

Figura 4 – *Trimpot*.



Fonte: Site do Baú da eletrônica<sup>5</sup>

O sensor de pH é peça fundamental no desenvolvimento do projeto, uma vez que o passo inicial da automação acontece a partir da leitura do valor de pH medido e repassado à placa de prototipagem Arduino Uno.

## 2.2. ARDUINO®

A placa de prototipagem eletrônica da marca Arduino® é capaz de receber informações do meio externo e direcioná-las para um microcontrolador, responsável por processá-las. Ele foi concebido com o intuito de tornar mais fácil e econômica a criação de dispositivos inteligentes capazes de interagir com o ambiente a partir de sensores e atuadores (FRIZZARIN, 2016).

Ele é composto de acessórios inteligentes, que são denominados “*Shields*”, que aumentam suas funcionalidades, de acordo com a necessidade de cada projeto. A flexibilidade dessa placa pode ser refletida em como a mesma pode ser utilizada em diversas áreas, seja robótica, automação, segurança, entre outras (MONK, 2015).

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/trimpot-3006p-de-15-voltas-de-5k-5000.html>> Acesso em: 24/03/2021

A placa Arduino<sup>®</sup>, por ser um dispositivo *open source* ou, traduzindo ao literal, de código aberto, permite que qualquer pessoa possa produzir a sua versão. (ARDUINO, 2021). Por possuir tal característica, ela acaba tendo diversos derivados. O modelo utilizado no projeto foi o Arduino Uno.

### 2.2.1. Arduino Uno

Atualmente, o Arduino Uno, visualizado na Figura 5, é considerada a placa mais popular e mais vendida dentre todas as placas da família Arduino<sup>®</sup>, além de ser base para a criação de outros modelos, como o Arduino Mega 2560.

O Arduino Uno é uma placa de desenvolvimento microcontrolada, que é baseada no ATmega328P. Esta placa possui 14 pinos de entrada e saída digital, seis dos quais podem ser utilizados como saídas analógicas PWM. Possui, ainda, seis entradas analógicas, um cristal oscilador, uma conexão USB e uma entrada para alimentação (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021).

Figura 5 - Arduino Uno.



Fonte: Site do Eledrodex<sup>6</sup>.

Essa placa foi utilizada como peça central do projeto de automação, que auxilia no processo de eclosão das artemias, visto que essa plataforma é capaz de integrar todos os outros componentes utilizados em um único sistema, a partir de uma programação baseada em linguagem C. Uma pesquisa realizada pela IEEE Spectrum (CASS; BULUSU, 2018), indica que essa linguagem de programação é uma das mais populares e mais utilizadas. A maior parte das arquiteturas possui compiladores para a linguagem C, que tem sido grande influência em muitas outras linguagens de programação. A linguagem C é extremamente eficiente e bastante utilizada no desenvolvimento de *softwares* em geral.

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://www.eledrodex.com.br/arduino-uno-r3-cabo-usb.html>> Acesso em: 27/02/2021

### 2.3. BOMBA D'ÁGUA

Para ajuste do pH da água, se fez necessário o uso de mini-bombas d'água submersas (Figura 6), para fazer o gotejamento das soluções ácida e básica na água das artemias. Esse tipo de bomba é bastante utilizado no desenvolvimento de projetos de prototipagem e automação residencial, pela praticidade de seu uso e seu fácil acesso.

Figura 6 - Mini bomba d'água.



Fonte: Site do Eletrogate<sup>7</sup>.

### 2.4. MOTOR

Um motor CC, retirado de um brinquedo, (Figura 7) foi utilizado para fazer a agitação (auxiliando na mistura) da solução gotejada e a água do mar. Por se tratar de um protótipo inicial, hastes provenientes de pirulitos foram anexadas ao motor que, ao rotacionar, provocaria a agitação da solução aquosa. O tamanho diminuto do motor é adequado às proporções da caixa utilizada na montagem do protótipo.

Durante o funcionamento do processo automático, o motor será acionado quando for identificado um valor de pH, que não corresponde ao estabelecido. De maneira geral, enquanto a bomba d'água goteja a solução, o motor faz a agitação.

Figura 7 – Motor



Fonte: Site do Eletrogate<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/mini-bomba-submersa-5v-p-agua>> Acesso em: 27/02/2021

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/motor-dc-59v-rf-300>> Acesso em: 27/02/2021

### 3. METODOLOGIA

Neste capítulo, apresenta-se o detalhamento dos procedimentos e das etapas necessárias para o desenvolvimento do processo, determinando as ações realizadas e os materiais necessários, ao longo do projeto.

#### 3.1. CONFECÇÃO DA CAIXA PARA ECLOSÃO DAS ARTEMIAS

Inicialmente, o projeto teve-se à confecção de uma estrutura capaz de proporcionar um ambiente favorável à eclosão das artemias. Para tanto, foi utilizada uma pequena caixa de acrílico, possuindo uma divisória interna (feita com plástico resistente), com uma modesta abertura para passagem dos microcrustáceos. Ainda para o reservatório, utilizou-se uma cartolina preta para vedar externamente e dividir a caixa em duas: uma clara (para eclosão dos ovos) e uma escura (para onde as artemias migram após eclodidas). A parte escura visou impedir a passagem de luz, como mostra a Figura 8.

Figura 8 - Sistema para eclosão dos cistos de artemia.



Fonte: Autoria própria (2019).

Após a confecção da caixa e a preparação do sistema de eclosão, analisou-se o método convencional de eclosão das artemias a fim de pontuar etapas passíveis de aprimoramento e otimização para o projeto.

#### 3.2. ANÁLISE DO MÉTODO COMUM DE AJUSTE DO PH

Na etapa de ajuste do pH faz-se, normalmente, o uso de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), responsável pelo aumento do caráter básico da água, e de fitas de pH. Sendo assim, adiciona-se na água do mar, que possui pH na faixa entre 7,4 e 8,5, gotas da solução alcalina até que o pH se encontre entre 9 e 10, como representado na Figura 9. Um fator negativo nesse método é o uso da fita de pH, que possui um custo alto no mercado para uma

baixa quantidade de fitas disponibilizadas (só podem ser utilizadas uma vez). Além disso, não há como mensurar a quantidade de gotas para o ajuste exato, fazendo com que o pH possa ultrapassar rapidamente o valor pretendido.

Figura 9 - Fita de pH e água do mar com pH ajustado.



Fonte: Autoria própria (2019).

Com o pH ajustado em 10, são depositados vários ovos de *Artemia Salina*, tentando pôr a maior parte do lado claro da caixa de acrílico. Ainda nesse lado, foi colocada uma luminária acesa para que houvesse a eclosão dos ovos (que acontece cerca de 24 horas após o depósito dos ovos), e, ao eclodirem, as artemias migraram, por meio da passagem na divisória, para a parte escura da caixa, onde amadurecem por mais 24 horas, para que possam ser utilizadas nos testes de citotoxicidade.

Em vista da problemática evidenciada para aquisição de fitas de pH, optou-se pela aquisição e uso de um sensor de pH, capaz de auxiliar na construção de um processo automático de controle dessa variável, modernizando o método convencional descrito. O ajuste automático de pH será feito não apenas com o aumento da alcalinidade da água do mar, mas também com o aumento da acidez, para o processo ser mais efetivo em prática, uma vez que o pH da água pode variar bastante entre os locais de escolha. Além disso, a luminária, acesa de forma manual, será substituída por uma fita de LED acionada automaticamente após a correção do pH da água.

### 3.3. AJUSTES DO SENSOR DE PH

Com base nos passos descritos pelo *datasheet*, que pode ser encontrado no Anexo A deste trabalho, do sensor de pH (PH-4502C), deu-se início ao processo de ajustes do sensor. A partir do código disponibilizado no documento (ver Figura 10), observou-se o funcionamento

do sensor para um pH ácido, um básico e um neutro. O sensor foi colocado dentro de um béquer com uma solução de pH = 4 (ácido), em seguida, em uma solução de pH = 7 (neutro), e então, em uma solução de pH = 10 (básico). A Figura 11 retrata esse procedimento e a Figura 12 apresenta o exemplo de uma solução padrão utilizada durante essa etapa de calibração. Para cada solução, foram feitos pequenos ajustes no *trimpot* do módulo do sensor, a fim de que o resultado medido pelo sensor fosse o mais próximo do real. Por fim, após os ajustes realizados no *trimpot*, foi decidido realizar a medição de materiais acessíveis, como um refrigerante, os quais já se tem conhecimento da faixa de pH, para que fosse confirmado a funcionalidade do sensor e da sua calibração (Figura 13).

Figura 10 - Código Arduino.

```
sketch_sep20a
byte modeIndex = 0;
if(strstr(receivedBuffer, "CALIBRATION") != NULL)
modeIndex = 1;
else if(strstr(receivedBuffer, "EXIT") != NULL)
modeIndex = 4;
else if(strstr(receivedBuffer, "ACID:") != NULL)
modeIndex = 2;
else if(strstr(receivedBuffer, "ALKALI:") != NULL)
modeIndex = 3;
return modeIndex;
}
void phCalibration(byte mode)
{
char *receivedBufferPtr;
static byte acidCalibrationFinish = 0, alkaliCalibrationFinish = 0;
static float acidValue,alkaliValue;
static float acidVoltage,alkaliVoltage;
float acidValueTemp,alkaliValueTemp,newSlopeValue,newInterceptValue;
switch(mode)
{
case 0:
if(enterCalibrationFlag)
Serial.println(F("Command Error"));
break;

case 1:
receivedBufferPtr=strstr(receivedBuffer, "CALIBRATION");
enterCalibrationFlag = 1;
acidCalibrationFinish = 0;
```

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 11 – Ajustes com soluções padrão.



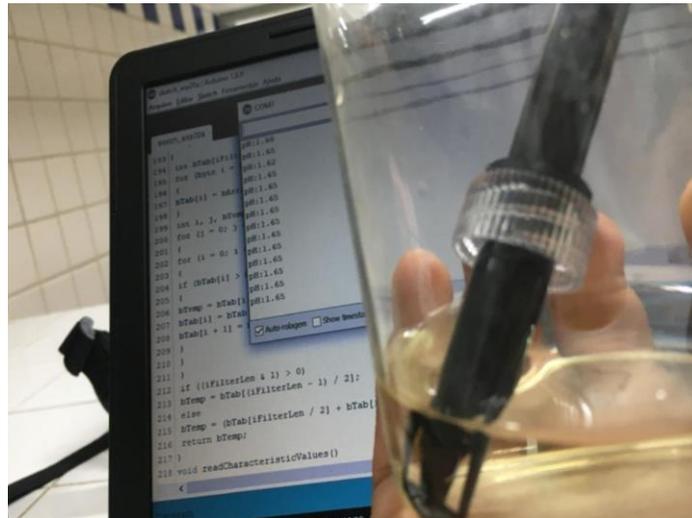
Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 12 – Exemplo de solução padrão de pH para calibração.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 13 - Teste do sensor de pH com refrigerante.

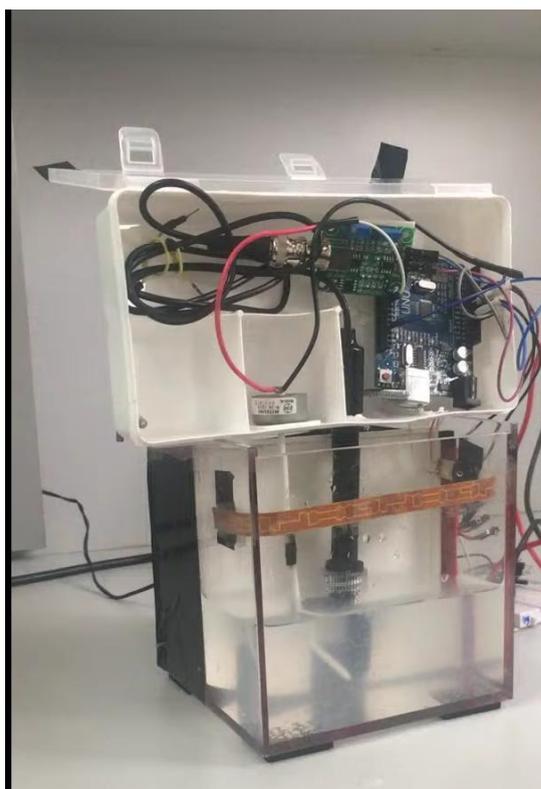


Fonte: Autoria própria (2019).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão evidenciados os resultados alcançados com o desenvolvimento do projeto, entretanto, é fulcral ressaltar as dificuldades encontradas, devido ao cenário pandêmico, que se estabeleceu no ano de 2020. Lamentavelmente, com o início da pandemia do novo coronavírus no Brasil, por volta do mês de março de 2020, foi decretado o cancelamento das aulas presenciais e o isolamento social, interrompendo toda e qualquer atividade em grupo visando o planejamento, análise e continuidade do protótipo do projeto em questão (Figura 14). Nessas condições, a retomada das práticas escolares por meio da metodologia à distância - sem qualquer encontro presencial - perpetuou a impossibilidade de produção de um protótipo final eficiente para a demonstração plena dos resultados esperados. Contudo, o uso de programas de simulação auxiliou na continuidade remota do projeto.

Figura 14 - Protótipo inicial.



Fonte: Autoria própria (2019).

##### 4.1. SISTEMA AUTOMÁTICO PARA O PROCESSO DE ECLOSÃO DAS ARTEMÍAS

Inicialmente, ainda no cenário pré-pandemia, após os devidos ajustes no PHmetro, foi desenvolvido um código fonte contendo as especificações do projeto para que a execução do controle de pH e do acionamento da fita de LED se desse de forma automática. Tendo em vista que o pH ideal da água salina para a eclosão de artemias compreende uma faixa de 8 a

10, no protótipo construído inicialmente, exposto pela Figura 13, adotou-se a faixa 9 de pH como a desejada. Ele foi idealizado para funcionar apenas com uma bomba d'água, corrigindo o pH somente quando estivesse abaixo de 9. Contudo, a fim de aprimorar o protótipo, a adição de uma segunda bomba para gotejamento de solução ácida foi realizada. Isso possibilita o controle de pH de forma mais eficiente.

Considerando o limite inferior supracitado para o sucesso da eclosão das artemias, adotou-se, novamente, o valor de 9 para o pH e, na implementação prática, uma faixa de trabalho compreendida entre 8,5 e 9,5. É importante ressaltar que a utilização de uma faixa de trabalho possibilita o acionamento do sistema em momentos específicos, impedindo uma ligação (ou desligamento) contínua das bombas, devido à presença de ruído nas medições do sensor.

Sendo assim, ficou definido que caso a leitura do pH (a partir do sensor) seja inferior à 8,5, a Bomba d'água 1 seria acionada, a fim de realizar o gotejamento de uma solução básica de NaOH (Figura 15) na água do mar presente na caixa de acrílico. De forma similar, caso o sensor afira um valor acima de 9,5, a Bomba 2 iniciaria o gotejamento de uma solução de Ácido Clorídrico (HCl), no intuito de aumentar a acidez da água (Figura 16). Em ambos os casos, as bombas permaneceriam acionadas enquanto a leitura não chegasse à faixa de trabalho estabelecida.

Figura 15 - Código para acionamento da bomba e do motor, gotejamento do NaOH.

```
//Condição para aumentar alcalinidade da água
if (ValorpH < 8.5)
{
    digitalWrite(Motor, HIGH);
    digitalWrite(Solucao_Basica, HIGH);
    digitalWrite(Solucao_Acida, LOW);
    digitalWrite(Leds, LOW);
    pH_Up = true;
    pH_Down = false;
}
```

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 16 - Código do acionamento da bomba e do motor, gotejamento do HCl.

```
//Condição para aumentar acidez da água
if(ValorpH > 9.5)
{
    digitalWrite(Motor,HIGH);
    digitalWrite(Solucao_Basica,LOW);
    digitalWrite(Solucao_Acida,HIGH);
    digitalWrite(Leds,LOW);
    pH_Down = true;
    pH_Up = false;
}
```

Fonte: Autoria própria (2021).

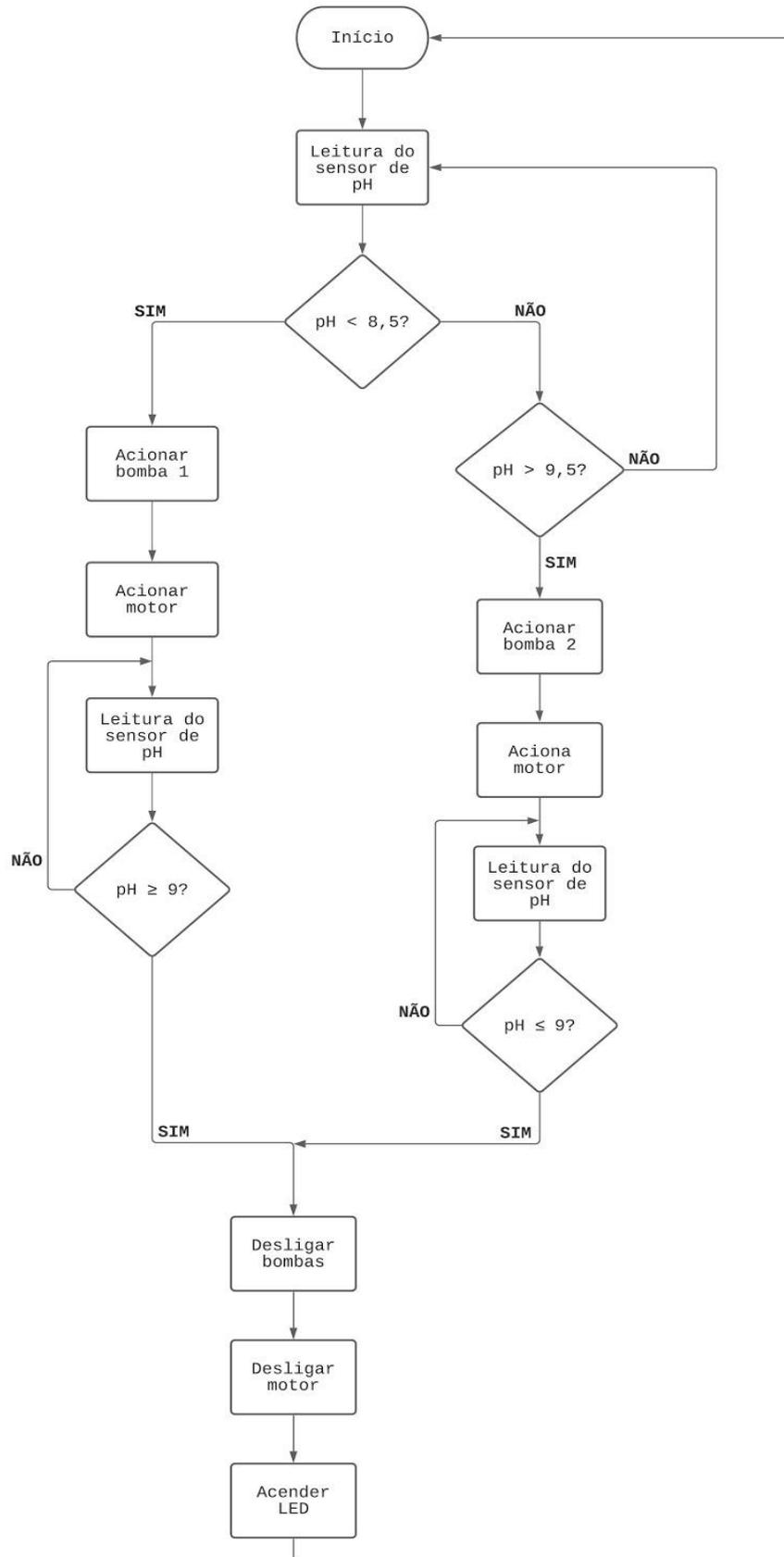
Ao dar início ao gotejamento para correção do pH, um motor também é acionado para que haja a devida homogeneização da solução gotejada com a água do mar. A correção se encerra no momento em que o sensor detecta que a água se encontra nas condições propícias. Por fim, ao final do funcionamento do motor, a fita de LED é ligada para aguardar o depósito dos cistos de artemias, encerrando o processo de eclosão (Figura 17). O código completo desenvolvido encontra-se no Apêndice A deste trabalho, contudo o funcionamento final do processo pode ser visualizado pelo fluxograma, representado na Figura 18.

Figura 17 - Código do acionamento do sistema de iluminação.

```
//Condição quando o pH se encontra na faixa desejada
if((ValorpH >= 9.0 && pH_Up)|| (ValorpH <= 9.0 && pH_Down))
{
    digitalWrite(Motor,LOW);
    digitalWrite(Solucao_Basica,LOW);
    digitalWrite(Solucao_Acida,LOW);
    digitalWrite(Leds,HIGH);
    pH_Up = false;
    pH_Down = false;
}
```

Fonte: Autoria própria (2021).

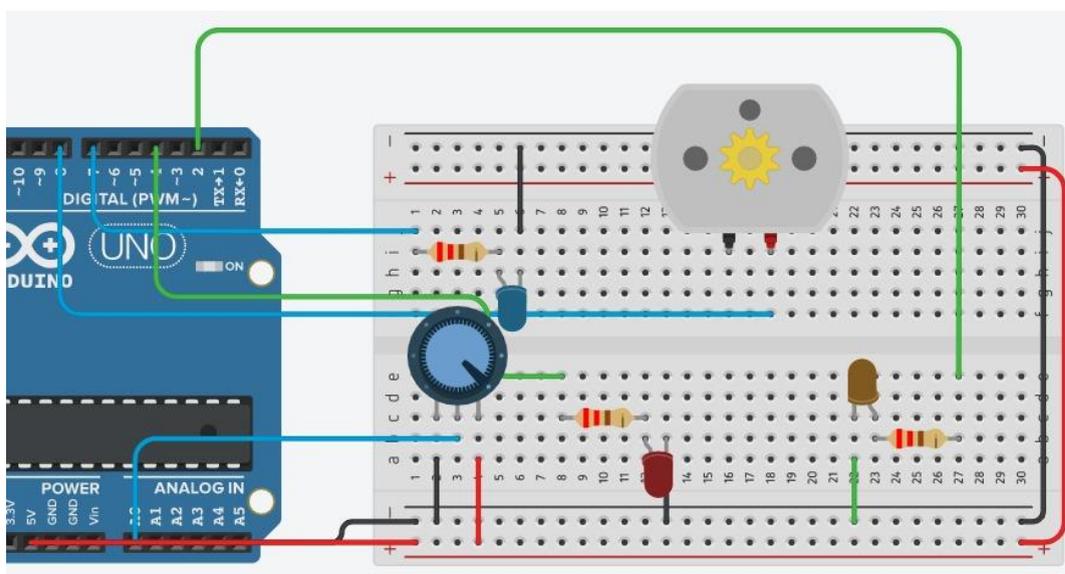
Figura 18 - Funcionamento do sistema automatizado.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para a implementação melhorada do projeto, durante a quarentena, fez-se uso de mecanismos virtuais de simulação, a exemplo da plataforma Tinkercad®, que possibilitaram a representação da execução do sistema (Figura 19). Na figura, os componentes utilizados tiveram papel representativo dos elementos utilizados na implementação prática, da seguinte maneira: o potenciômetro (elemento em azul), por meio da variação de resistência e produção de um sinal analógico, representa o sensor de pH; os LEDs azul e vermelho, representam o funcionamento binário das bombas d'água. Nesse caso, o LED azul corresponde à bomba responsável pelo gotejamento da solução básica, enquanto o vermelho a responsável pelo gotejamento da solução ácida; o LED amarelo faz a correspondência do acionamento da fita de LED; e, por fim, o componente com engrenagem amarela no centro representa o motor de agitação.

Figura 19 - Hardware do circuito do projeto em estado inicial na plataforma de simulação.



Fonte: Autoria própria (2021).

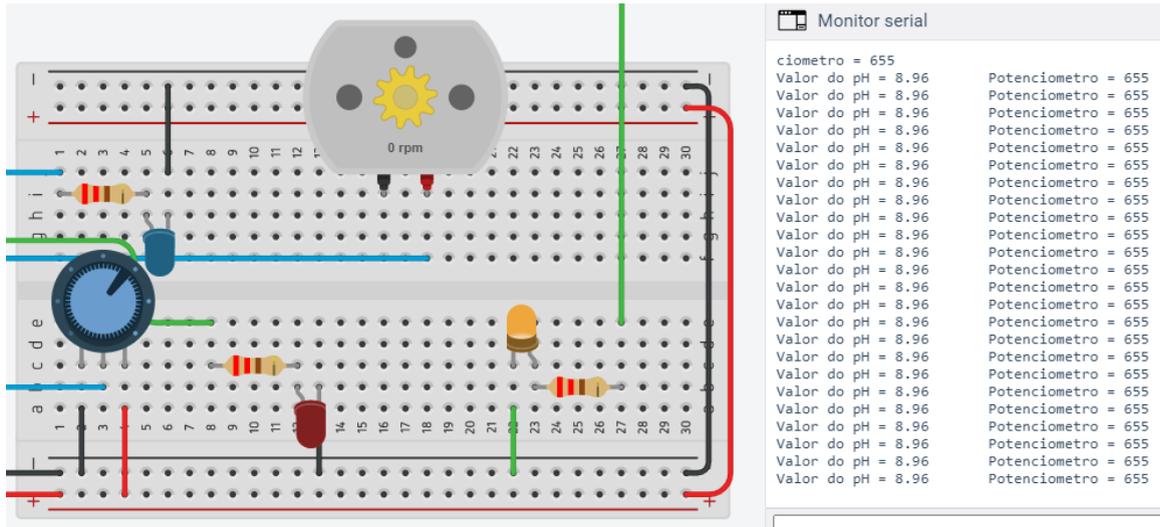
Os testes de funcionamento do circuito, em conjunto com o código implementado, apresentam resultados satisfatórios do que foi proposto pelo desenvolvimento do projeto, podendo ser visualizados nas figuras a seguir:

Na Figura 20, é representada uma situação, caso o valor de pH aferido pelo sensor seja maior que a faixa superior estabelecida (9,5). Nesse cenário, o Motor e a Bomba 2 (LED vermelho) seriam ativados a fim de gotejar e homogeneizar a solução de Ácido Clorídrico reduzindo o pH da água salina para o ideal. O funcionamento do motor pode ser vislumbrado pelo valor em RPM, representado abaixo da sua engrenagem. No monitor serial, podem ser



O último caso, mostrado na Figura 22, para quando o valor aferido pelo Sensor encontrar-se dentro da faixa estabelecida ao passo que a mudança no pH segue o mesmo sentido (de aumento ou diminuição) que estava antes. Para o caso do aparecimento de ruídos, há o acionamento da fita de LED (LED amarelo) e desligamento do motor e da bomba, que estava em funcionamento.

Figura 22 - Funcionamento do circuito com pH regulado na faixa estabelecida.



Fonte: Autoria própria (2021).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, tornou-se evidente não somente a importância do uso de bioindicadores, a exemplo das artemias, em testes que investigam o grau de poluição e toxicidade de certas substâncias, mas também do desenvolvimento de um projeto que otimize e aprimore a técnica de eclosão dos cistos. Ademais, nota-se, inclusive, uma redução no custo da metodologia anterior e no uso exagerado de fitas de pH e de soluções químicas, levando em consideração que: uma fita de pH custa em média R\$ 2,00 e que no processo de preparação da solução salina eram utilizadas, no mínimo, cerca de 3 fitas por ajuste; o PHmetro apresentou, inicialmente, um valor significativo de R\$ 120,00. Contudo, ponderou-se que o equipamento promovia uma dedução a longo prazo, dado que não evidenciava uma descartabilidade imediata e seria de uso comunitário de todas as pesquisas desenvolvidas no Lapern. Logo, é incontestável que o processo de automação do controle de pH e do sistema de iluminação para a eclosão dos cistos de *Artemia Salina* mostrou-se eficiente ao garantir agilidade e qualidade no processo.

Futuramente, é necessário promover os aperfeiçoamentos implementados no circuito simulado ao protótipo físico, com o intuito de confeccionar um modelo padrão para as pesquisas realizadas no Lapern, laboratório do IFRN - Zona Norte. Além disso, urge a realização de uma melhoria no design geral do protótipo, com adequações na caixa de acrílico e do suporte para o motor, sensor de pH e placa de prototipagem eletrônica. Após isso, objetiva-se implementar, para avanço do projeto, um *dispenser* automático para depositar os cistos de artemia, uma vez que essa etapa segue como a única manual dentro do processo.

Por fim, vale salientar a importância do desenvolvimento de projetos como esse no âmbito da eletrônica e, em especial, da automação, dado que integram, cada vez mais, diversas áreas do conhecimento humano aos inerentes e importantíssimos avanços tecnológicos vivenciados na contemporaneidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, P. D. **Water Pollution Biology**. Ellis Horwood Ltd, Publishers, Chichester, 1989.

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C. **Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos**. Quím. Nova, v. 25, n. 6B, p. 1145 -1154, 2002.

AMÉRICO, I.; AZEVEDO, M. J. G.; SOUZA, A. de. **Trabalho automação na metalurgia manual X automatização**. 2011.

ARDUINO. **“Open-source physical computing platform”**. Disponível em <<http://www.arduino.cc/>> . Acesso em: 06 de fevereiro de 2021.

BECCATO, M. A. B. **Elaboração participativa de uma proposta de reestruturação do sistema de tratamento de esgoto da comunidade do Maruja – Parque estadual da ilha do Cardoso/SP**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BENÍTEZ, C. M. V.; ROHRICH, R. F. **Eletricidade e eletrônica na prática**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

BUENO, A. C.; PIOVEZAN, M. **Bioensaio toxicológico utilizando Artemia salina: fatores envolvidos em sua eficácia**. Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Lages, 2015.

CARVALHO, C.; MATTA, S.; MELO, F.; ANDRADE, D.; CARVALHO, L.; NASCIMENTO, P.; SILVA, M.; ROSA, M. Cipó-cravo (*Tynnanthus fasciculatus* miers-Bignoniaceae): **Estudo fitoquímico e toxicológico envolvendo Artemia salina**. Revista Eletrônica de Farmácia Vol 6(1), 51-58, 2009.

CASS, S.; BULUSU, P. **Interactive: the top programming languages 2018**. Disponível em: <<https://spectrum.ieee.org/static/interactive-the-top-programminglanguages-2018>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2021.

DAVILA, T. **As regras da inovação, como gerenciar, como medir e como lucrar**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

DFROBOT. **PH meter (SKU: SEN0161)**. Disponível em: <[https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0161\\_SEN0169\\_Web.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/SEN0161_SEN0169_Web.pdf)>. Acesso em: 14 de novembro de 2019.

ELETRÔNICA, Baú da. **Arduino Uno R3**. Guarulhos-SP. Disponível em: <<https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-uno-r3.html>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2021.

FRIZZARIN, F. B. **Arduino: Guia para colocar suas ideias em prática**. São Paulo: CASA DO CÓDIGO, 2016.

HOUAISS, A. e VILLAR, M. de S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Elaborado no Instituto Antonio Houaiss de Lexicografia e Banco de Dados da Portuguesa. Rio de Janeiro: Objetiva, 2004.

MAIA, A. B.; NASCIMENTO, A. R. A. do; VIDAL, Y. P.; CAVALCANTE, R. F. **Testes de toxicidade com artêmia salina e sua importância no controle de parâmetros ambientais**. Instituto Federal do Ceará - Campus Quixadá, 2018.

MEYER, B.N.; FERRIGNI, N.R.; PUTNAM, J.E.; JACOBSEN, L.B.; NICHOLS, DE, McLaughlin, J.L. **Brine shrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents**. *Planta Medica*, v. 45, n. 5, p.31-34, 1982.

MONK, S. **Programação com Arduino II: Passos avançados com Sketches**. Editora: BOOKMAN, 2015.

MOREIRA, L. A. **Avaliação da atividade tóxica em artemia salina leach. de extratos de duas espécies da família melastomataceae**. TCC (Licenciatura em Química) - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS CÂMPUS ANÁPOLIS, [S. 1.], 2013.

MUNIZ, H. **Medição de pH em emulsões**. Artigo Científico, Ind. e Com. Eletrônica Gehaka Ltda., São Paulo-SP, 2007.

POMPEU, G. B.; AMBROSANO, G. B.; VILHENA, M. B. **Potential of hydrogen (pH) differentially modulates cadmium stress response in abscisic acid-deficient sitiens tomato mutant**. *Bragantia*, Campinas, SP, IAC, v. 78, n. 3, p. 317-327, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018326> > DOI: 10.1590/1678-4499.2018326.

RIOS, F. J. B. **Digestibilidade in vitro e toxicidade de lectinas vegetais para náuplios de Artemia**. Dissertação (mestrado em Bioquímica) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 1995

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. **Fundamentos de Economia**. São Paulo: Saraiva, 5º edição, 2012.

## ANEXO A – CÓDIGO DE CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE PH

Nesta seção será apresentado o código, disponibilizado pelo *datasheet* do PHmetro, que foi utilizado para a calibração do sensor de pH.

```
/******
```

```
This example uses software solution to calibration the ph meter,  
not the potentiometer. So it is more easy to use and calibrate.
```

```
This is for SEN0161 and SEN0169.
```

```
Created 2016-8-11
```

```
By youyou from DFrobot <youyou.yu@dfrobot.com>
```

```
GNU Lesser General Public License.
```

```
See <http://www.gnu.org/licenses/> for details.
```

```
All above must be included in any redistribution
```

```
*****/
```

```
/******Notice and Troubleshooting*****
```

```
1.Connection and Diagram can be found here http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH\_meter%28SKU:\_SEN0161%29
```

```
2.This code is tested on Arduino Uno.
```

```
*****/
```

```
#include <EEPROM.h>
```

```
#define EEPROM_write(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) EEPROM.write(address+i, pp[i]);}
```

```
#define EEPROM_read(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++) pp[i]=EEPROM.read(address+i);}
```

```
#define ReceivedBufferLength 20
```

```

char receivedBuffer[ReceivedBufferLength+1]; // store the serial
command

byte receivedBufferIndex = 0; #define SCOUNT 30 // sum of sample point

int analogBuffer[SCOUNT]; //store the sample voltage

int analogBufferIndex = 0;

#define SlopeValueAddress 0 // (slope of the ph probe)store at
the beginning of the EEPROM. The slope is a float number,occupies
4 bytes.

#define InterceptValueAddress (SlopeValueAddress+4)

float slopeValue, interceptValue, averageVoltage;

boolean enterCalibrationFlag = 0;

#define SensorPin A0

#define VREF 5000 //for arduino uno, the ADC reference is the pow
er(AVCC), that is 5000mV

void setup()

{

  Serial.begin(115200);

  readCharacteristicValues(); //read the slope and intercept of th
e ph probe

}

void loop()

{

  if(serialDataAvailable() > 0)

  {

    byte modeIndex = uartParse();

    phCalibration(modeIndex); // If the correct calibration c

```

ommand is received, the calibration function should be called.

```
EEPROM_read(SlopeValueAddress, slopeValue); // After cal
ibration, the new slope and intercept should be read ,to update cu
rrent value.
```

```
EEPROM_read(InterceptValueAddress, interceptValue);
}
static unsigned long sampleTimepoint = millis();
if(millis()-sampleTimepoint>400U)
{
sampleTimepoint = millis();
analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(SensorPin)/1024.
0*VREF; //read the voltage and store into the buffer,every 40ms
analogBufferIndex++;
if(analogBufferIndex == SCOUNT)
analogBufferIndex = 0;
averageVoltage = getMedianNum(analogBuffer,SCOUNT); // read
the stable value by the median filtering algorithm
}
```

```
static unsigned long printTimepoint = millis();
if(millis()-printTimepoint>1000U)
{
printTimepoint = millis();
if(enterCalibrationFlag) // in calibration mode,
print the voltage to user, to watch the stability of voltage
{
```

```

Serial.print("Voltage:");
Serial.print(averageVoltage);
Serial.println("mV");
}else{
Serial.print("pH:"); // in normal mode, print th
e ph value to user
Serial.println(averageVoltage/1000.0*slopeValue+interceptValu
e);
}
}
}
boolean serialDataAvailable(void)
{ char receivedChar;
static unsigned long receivedTimeOut = millis();
while (Serial.available()>0)
{
if (millis() - receivedTimeOut > 1000U)
{
receivedBufferIndex = 0;
memset(receivedBuffer,0,(ReceivedBufferLength+1));
}
receivedTimeOut = millis();
receivedChar = Serial.read();
if (receivedChar == '\n' || receivedBufferIndex==ReceivedBuffe
rLength){
receivedBufferIndex = 0;

```

```
   strupr(receivedBuffer);

    return true;
}

else{

    receivedBuffer[receivedBufferIndex] = receivedChar;

    receivedBufferIndex++;

}

}

return false;

}

byte uartParse()

{

    byte modeIndex = 0;

    if(strstr(receivedBuffer, "CALIBRATION") != NULL)

        modeIndex = 1;

    else if(strstr(receivedBuffer, "EXIT") != NULL)

        modeIndex = 4;

    else if(strstr(receivedBuffer, "ACID:") != NULL) modeIndex = 2;

    else if(strstr(receivedBuffer, "ALKALI:") != NULL)

        modeIndex = 3;

    return modeIndex;

}

void phCalibration(byte mode)

{

    char *receivedBufferPtr;

    static byte acidCalibrationFinish = 0, alkaliCalibrationFinish
```

```
= 0;

static float acidValue,alkaliValue;

static float acidVoltage,alkaliVoltage;

float acidValueTemp,alkaliValueTemp,newSlopeValue,newIntercept
Value;

switch(mode)
{
case 0:

if(enterCalibrationFlag)

Serial.println(F("Command Error"));

break;

case 1:

receivedBufferPtr=strstr(receivedBuffer, "CALIBRATION");

enterCalibrationFlag = 1;

acidCalibrationFinish = 0;

alkaliCalibrationFinish = 0;

Serial.println(F("Enter Calibration Mode"));

break;

case 2:

if(enterCalibrationFlag)

{ receivedBufferPtr=strstr(receivedBuffer, "ACID:");

receivedBufferPtr+=strlen("ACID:");

acidValueTemp = strtod(receivedBufferPtr,NULL);

if((acidValueTemp>3)&&(acidValueTemp<5)) //typica
```

I ph value of acid standand buffer solution should be 4.00

```
{
acidValue = acidValueTemp;
acidVoltage = averageVoltage/1000.0; // mV ->
```

V

```
acidCalibrationFinish = 1;
Serial.println(F("Acid Calibration Successful"));
}else {
acidCalibrationFinish = 0;
Serial.println(F("Acid Value Error"));
}
}
break;
```

case 3:

```
if(enterCalibrationFlag)
{
receivedBufferPtr=strstr(receivedBuffer, "ALKALI:");
receivedBufferPtr+=strlen("ALKALI:");
alkaliValueTemp = strtod(receivedBufferPtr,NULL);
if((alkaliValueTemp>8)&&(alkaliValueTemp<11)) //
```

typical ph value of alkali standand buffer solution should be 9.18

or 10.01

```
{
alkaliValue = alkaliValueTemp;
alkaliVoltage = averageVoltage/1000.0;
```

```
    alkaliCalibrationFinish = 1;

    Serial.println(F("Alkali Calibration Successful"))

);

}else{ alkaliCalibrationFinish = 0;

Serial.println(F("Alkali Value Error"));

}

}

break;

case 4:

if(enterCalibrationFlag)

{

if(acidCalibrationFinish && alkaliCalibrationFinish)

{

newSlopeValue = (acidValue-alkaliValue)/(acidVoltage

- alkaliVoltage);

EEPROM_write(SlopeValueAddress, newSlopeValue);

newInterceptValue = acidValue - (slopeValue*acidVoltage);

EEPROM_write(InterceptValueAddress, newInterceptValue);

Serial.print(F("Calibration Successful"));

}

else Serial.print(F("Calibration Failed"));

Serial.println(F("Exit Calibration Mode"));

acidCalibrationFinish = 0;

alkaliCalibrationFinish = 0;
```

```
enterCalibrationFlag = 0;

}

break;

}

}

int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen)

{

    int bTab[iFilterLen];

    for (byte i = 0; i < iFilterLen; i++) {

        bTab[i] = bArray[i];

    }

    int i, j, bTemp;

    for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++)

    {

        for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++)

        {

            if (bTab[i] > bTab[i + 1])

            {

                bTemp = bTab[i];

                bTab[i] = bTab[i + 1];

                bTab[i + 1] = bTemp;

            }

        }

    }

    if ((iFilterLen & 1) > 0)

        bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];
```

```

else

bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) /
2;

return bTemp;

}

void readCharacteristicValues()
{
EEPROM_read(SlopeValueAddress, slopeValue);

EEPROM_read(InterceptValueAddress, interceptValue);

if(EEPROM.read(SlopeValueAddress)==0xFF && EEPROM.read(SlopeVa
lueAddress+1)==0xFF && EEPROM.read(SlopeValueAddress+2)==0xFF && E
EPROM.read(SlopeValueAddress+3)==0xFF)
{
slopeValue = 3.5; // If the EEPROM is new, the recommendat
ory slope is 3.5. EEPROM_write(SlopeValueAddress, slopeValue);
}

if(EEPROM.read(InterceptValueAddress)==0xFF && EEPROM.read(Int
erceptValueAddress+1)==0xFF && EEPROM.read(InterceptValueAddress+2
)==0xFF && EEPROM.read(InterceptValueAddress+3)==0xFF)
{
interceptValue = 0; // If the EEPROM is new, the recommenda
tory intercept is 0.

EEPROM_write(InterceptValueAddress, interceptValue);
}
}

```

## APÊNDICE A – CÓDIGO COMPLETO DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO

Nesta seção é apresentado o código desenvolvido no projeto a fim de automatizar todo o funcionamento do sistema.

---

```

//Definição das variáveis e respectivos valores ou portas digitais.
int Sensor = A0;
int Motor = 8;
int Solucao_Basica = 7;
int Solucao_Acida = 4;
int Leds = 2;
int pH = 0;
float ValorpH = 0;
boolean pH_Up = false;
boolean pH_Down = false;

//Definição das variáveis como saídas digitais
void setup() {
  pinMode(Motor, OUTPUT);
  pinMode(Solucao_Basica, OUTPUT);
  pinMode(Solucao_Acida, OUTPUT);
  pinMode(Leds, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  //Conversão do valor lido para escala de pH (0-14)
  pH = analogRead(Sensor);
  delay(50);
  ValorpH = pH * 0.013685239;

  //Condição para aumentar alcalinidade da água
  if(ValorpH < 8.5)
  {
    digitalWrite(Motor, HIGH);
    digitalWrite(Solucao_Basica, HIGH);
    digitalWrite(Solucao_Acida, LOW);
    digitalWrite(Leds, LOW);
    pH_Up = true;
    pH_Down = false;
  }

  //Condição para aumentar acidez da água

```

---

```
if(ValorpH > 9.5)
{
    digitalWrite(Motor,HIGH);
    digitalWrite(Solucao_Basica,LOW);
    digitalWrite(Solucao_Acida,HIGH);
    digitalWrite(Leds,LOW);
    pH_Down = true;
    pH_Up = false;
}

//Condição quando o pH se encontra na faixa desejada
if((ValorpH >= 9.0 && pH_Up)|| (ValorpH <= 9.0 && pH_Down))
{
    digitalWrite(Motor,LOW);
    digitalWrite(Solucao_Basica,LOW);
    digitalWrite(Solucao_Acida,LOW);
    digitalWrite(Leds,HIGH);
    pH_Up = false;
    pH_Down = false;
}

Serial.print("Valor do pH = " );
Serial.print(ValorpH);
Serial.print("\t Potenciometro = ");
Serial.println(pH);
}
```