

Aprendendo sistemas embarcados através de um sistema de monitoramento da qualidade da água em comunidades ribeirinhas com Arduino

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.003-065>

Fabricia Ferreira Neves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
Especialista em Meio Ambiente e suas Tecnologias
E-mail: FSNeves2011@gmail.com
LATTES: <https://lattes.cnpq.br/8527170330142911>

Amanda Vitória Lima dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
Curso Técnico de Nível Médio em Mecatrônica Industrial
E-mail: 2021314170@ifam.edu.br

Claudio Enrique Marinho dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
Curso Técnico de Nível Médio em Mecatrônica Industrial
E-mail: 2021316648@ifam.edu.br

João Victor da Silva Reis

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
Curso Técnico de Nível Médio em Mecatrônica Industrial
E-mail: 2021314400@ifam.edu.br

Vitor Bremgartner da Frota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
Doutor em Informática
E-mail: vitorbref@ifam.edu.br
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/6100146230873494>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1073-756X>

Julieuza de Souza Natividade

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas: Campus Manaus Distrito Industrial
Mestrado em Educação
E-mail: julieuza.natividade@ifam.edu.br
LATTES: <http://lattes.cnpq.br/2906755122056860>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4856-5054>

RESUMO

A água é um recurso natural, seja como componente bioquímico dos seres vivos, como modo de vida para diversas espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais e como fator de produção de diversos bens de consumo. No entanto, nos últimos anos, com o crescimento populacional e a exacerbada expansão industrial, a qualidade da água tem sido comprometida, prejudicando a saúde humana e afetando comunidades que dela necessitam para sobreviver, como as comunidades ribeirinhas localizadas no estado brasileiro do Amazonas. O isolamento geográfico e a falta de políticas públicas para essas comunidades dificultam o acesso a serviços essenciais, como saúde, educação, energia elétrica, saneamento básico, tecnologia de comunicação, entre outros. Nesse contexto, o ensino da tecnologia de sistemas embarcados pode ser redirecionado para o monitoramento da água e servir como ferramenta auxiliar na verificação de sua qualidade, a partir da verificação de sólidos totais dissolvidos (EDT) e pH, para proporcionar saúde, segurança e garantir que a água consumida por essas populações esteja adequada para o uso diário. Portanto, neste trabalho optamos por elaborar um projeto didático utilizando Arduino e sensores que consiste em um protótipo que auxilia nesta medição. Dessa forma, construímos um protótipo, integrando sensores de baixo custo para monitoramento em tempo real da qualidade da água, que é capaz de medir seus parâmetros químicos, para que as comunidades que não possuem as informações necessárias para classificar a água como potável, possam ter conhecimento do estado da água que consomem.

Palavras-chave: Qualidade da água, Comunidades ribeirinhas, Monitoramento, Parâmetros químicos, Sistemas embarcados.



1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a existência de qualquer vida na Terra. A água está disponível em todo o mundo e atende às principais necessidades da humanidade, ou seja, necessidades residenciais, domésticas, agrícolas e industriais. Nos últimos anos, a qualidade da água tem sido negativamente impactada pelo aumento da população humana, o que tem levado à expansão das cidades, ao aumento da industrialização e ao uso descontrolado dos recursos naturais [4]. O resultado foi a produção de uma grande quantidade de esgoto doméstico e industrial despejado diretamente nos ecossistemas hídricos urbanos [3].

Cerca de 80% da água resultante das atividades humanas é lançada nos corpos d'água sem qualquer remoção de poluição. Resíduos como matéria orgânica, metais pesados, pesticidas, produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, nanopartículas, plásticos e patógenos estão entre os poluentes de maior preocupação [5]. Uma das principais dificuldades na remoção desses poluentes é a falta de recursos econômicos necessários para a criação e aplicação de tecnologias de remediação [1]. Um método padrão e eficaz de avaliação da qualidade da água é o monitoramento de parâmetros químicos e físicos no ambiente aquático.

Uma forma inovadora de monitorar esses parâmetros é por meio de sensores que capturam as informações necessárias, registram e enviam tudo em tempo real [2]. Portanto, para este trabalho foi desenvolvido um protótipo, utilizando sensores de baixo custo para monitorar a qualidade da água. Este protótipo é capaz de medir os parâmetros de sólidos totais dissolvidos (TDS) e pH. Após essa medição, a comunidade terá informações importantes e necessárias para identificar se a água que está consumindo é segura para consumo ou não.

Ao mesmo tempo, neste trabalho tivemos a integração de 3 alunos do Ensino Médio juntamente com 1 aluno especializado em Meio Ambiente e Tecnologias, no qual o sistema desenvolvido permitiu um melhor aprendizado sobre sistemas embarcados aplicados a tecnologias ambientais. Combinamos princípios da cultura maker, interação entre alunos de diferentes níveis de ensino e Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), como apresentado em [6], a fim de construir esse sistema.

2 METODOLOGIA

2.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

Em nosso estudo, escolhemos o município de Coari, que possui uma área de 57.529,70 km² e está localizado a 364 km da capital do Estado brasileiro do Amazonas, Manaus. Apesar de estar localizada na bacia do rio Amazonas, a maior do Brasil e do mundo, Coari possui diversos locais vulneráveis, onde não há acesso à água potável e ao saneamento, algo considerado muito importante para a saúde da população. A cidade tem um alto índice de moradores que vivem às margens de rios e igarapés, e essas pessoas não têm acesso à água potável. Muitos consomem água do mesmo local onde

costumam despejar seus dejetos e outras pessoas procuram água mais longe de onde moram. A figura 1 mostra a localização de Coari no mapa do Amazonas, na América do Sul, extraída do site Google Maps. Coari é banhada pelo rio Solimões, que faz parte do rio Amazonas.

Figura 01: Localização de Coari no Estado do Amazonas (pino à esquerda). A marca estrelada (pino à direita) é a localização de Manaus.



Fonte: Autores (2023).

Por sua vez, a Figura 2 mostra um exemplo de uma comunidade ribeirinha em Coari, além de uma criança tomando água do rio Solimões para consumo e uma mulher lavando roupas e louças no rio.

Figura 02: Comunidades ribeirinhas em Coari; Criança tirando água do Rio Solimões para consumo; Mulher ribeirinha lavando roupas e louças com água do rio.



Fonte: Autores (2023).

Além disso, a água obtida do rio também é usada para beber. A figura 3 mostra pela cor da água, que também é um fator de análise, que essa água não é própria para o consumo. A situação se torna ainda mais difícil entre os meses de maio e setembro de cada ano, quando os rios baixam o nível das águas, período chamado de seca.

Figura 03: Água de coloração amarelada utilizada para consumo humano, em uma comunidade ribeirinha de Coari.



Fonte: Autores (2023).

2.2 MATERIAIS

A estrutura básica do sistema consiste em sensores com capacidade de medir parâmetros da água, um ou mais microcontroladores que lerão os sinais analógicos e os transmitirão a um computador para visualização dos dados. Portanto, o sistema possui dois sensores para medição de pH e TDS, como mostra a Tabela 1.

Tabela 01: Materiais utilizados.

	<i>Materiais</i>	<i>Modelo</i>	<i>Descrição: _____</i>
1	Arduino	MEGA 2560	O Arduino Mega 2560 é uma placa microcontroladora baseada no ATmega2560. Ele tem 54 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 15 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma tomada de energia, um conector ICSP e um botão de reset
2	Sensor de pH	PH-4502C	O Sensor de pH Arduino é um sensor funcional e prático desenvolvido especialmente para trabalhar em conjunto com microcontroladores.
3	TDS sensor	OEM	Um medidor TDS mede o número total de sólidos dissolvidos, como sais, minerais e metais na água. À medida que o número de sólidos dissolvidos na água aumenta, a condutividade da água aumenta, o que nos permite calcular o total de sólidos dissolvidos em partes por milhão, ppm (mg/L).

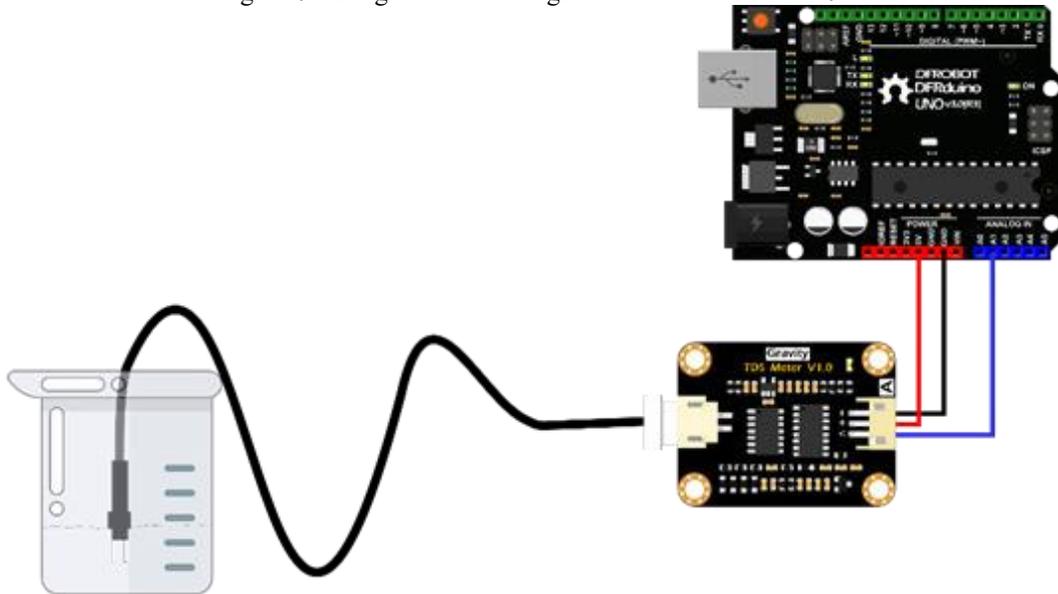
Fonte: Autores (2023).

2.3 DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÕES

O sistema de monitoramento da qualidade da água foi desenvolvido por meio da integração de conhecimentos nas áreas de Programação, Sistemas Embarcados e Meio Ambiente, com interação e colaboração entre professores e alunos do Ensino Médio Técnico em Mecatrônica, do Instituto Federal do Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM CMDI). O aluno da Especialização em Meio Ambiente e Tecnologias foi responsável por captar água das comunidades ribeirinhas de Coari e registrar essas visitas.

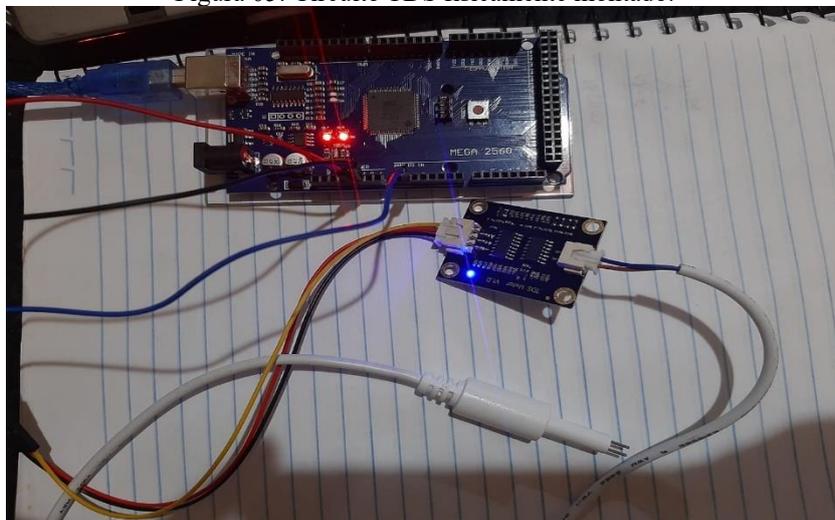
A figura 4 mostra o diagrama de montagem do medidor TDS. A figura 5 mostra o circuito fisicamente montado. Por sua vez, a Figura 6 mostra o diagrama esquemático de conexão do sensor de pH ao Arduino e na Figura 7 há o diagrama de conexão do sensor de pH Arduino fisicamente montado.

Figura 04: Diagrama de montagem do medidor TDS V1.0.



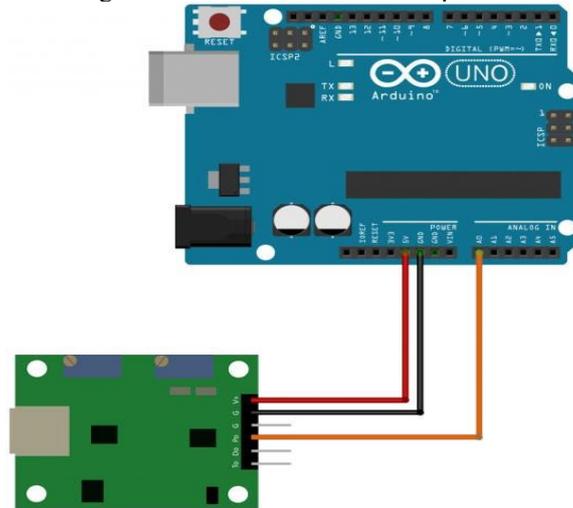
Fonte: Autores (2023).

Figura 05: Circuito TDS fisicamente montado.



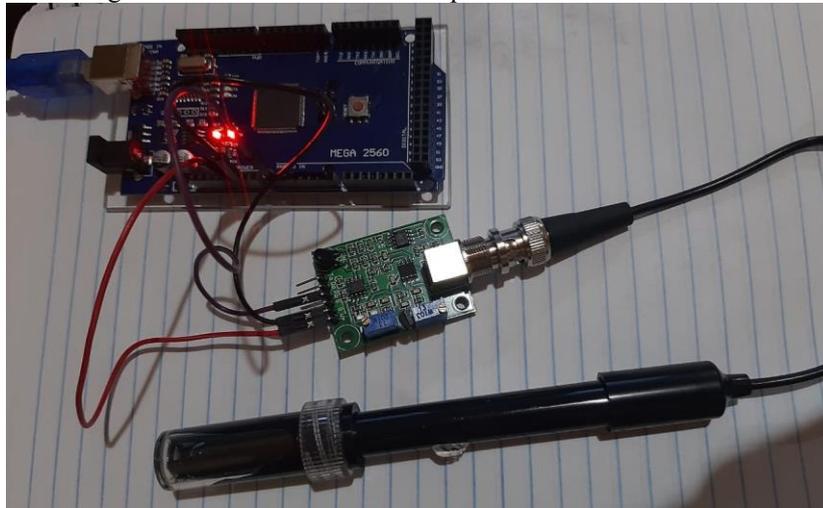
Fonte: Autores (2023).

Figura 06: Diagrama de conexão do sensor de pH com o Arduino.



Fonte: Autores (2023).

Figura 07: Diagrama de conexão do sensor de pH com o Arduino montado fisicamente.



Fonte: Autores (2023).

Após a montagem do circuito, a programação foi desenvolvida no IDE Arduino, utilizando bibliotecas de sensores baseadas na linguagem C++, após identificação dos dados de entrada, processamento e procedimentos de saída, como mostra a figura 8.

Figura 08: Código utilizado para calibrar o medidor TDS e calibrar o sensor de pH.

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

#define TdsSensorPin A1
GravityTDS gravityTds;

float temperature = 25,tdsValue = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
  gravityTds.setAref(5.0);
  gravityTds.setAdcRange(1024);
  gravityTds.begin();
}

void loop()
{
  gravityTds.setTemperature(temperature);
  gravityTds.update();
  tdsValue = gravityTds.getTdsValue();
  Serial.print(tdsValue,0);
  Serial.println("ppm");
  delay(1000);
}

int ph_pin = A0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int measure = analogRead(ph_pin);
  Serial.print("Measure: ");
  Serial.print(measure);

  double voltage = 5 / 1024.0 * measure;
  Serial.print("\tVoltage: ");
  Serial.print(voltage, 3);

  float Po = 7 + ((2.5 - voltage) / 0.18);
  Serial.print("\tPH: ");
  Serial.print(Po, 3);

  Serial.println("");
  delay(2000);
}
```

Fonte: Autores (2023).

3 RESULTADOS

3.1 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (TDS)

Devido a uma inversão de valores causada pelo sensor, a medição foi feita comparando-se os valores de água mineral potável e os da água coletada nos rios, igarapés e lagos de Coari, cujas águas estão identificadas nas garrafas da Figura 9. Observou-se que o valor da água mineral não se alterou em nenhum momento durante as medições, o que não ocorreu na água coletada, a medida foi feita conforme mostra a Tabela 2.

Figura 09: Águas de Coari testadas.



Fonte: Autores (2023).

Tabela 02: Valores obtidos para sólidos totais dissolvidos nas análises.

<i>Pontos de Coleta</i>	<i>Valores Sólidos Dissolvidos Totais</i>									<i>Referência</i>
Água mineral	18 páginas	18 páginas	18 páginas	18 páginas	18 páginas	18 páginas	18 páginas	18 páginas	18 páginas	Portaria GM/MS n°. 888, 4 de maio, 2021.[7]
Riacho Pera	5 páginas	5 página s	5 páginas	5 páginas	5 página s	5 páginas	5 páginas	5 página s	5 página s	
Lago Coari – Meio do Lago	2 página s	2 página s	2 página s	2 página s	2 página s	2 página s	2 página s	2 página s	2 página s	
Lago Coari – Lakeside	5 página s	5 página s	5 página s	5 página s	5 página s	5 página s	5 página s	5 página s	5 página s	
Lago Mamiá	3 páginas	3 página s	3 páginas	3 páginas	3 página s	3 páginas	3 páginas	3 página s	3 página s	
Solimões rio	34 páginas	34 páginas	34 páginas	34 páginas	34 páginas	34 páginas	34 páginas	34 páginas	34 páginas	

Fonte: Autores (2023).

À medida que o sensor inverte os valores, é feita a seguinte subtração: $18 - 5 = 13$, onde atribuímos 5 ao valor da água mineral, o valor base determinado pela portaria GM/MS nº 888 [7] e 13 ao valor da água do Riacho Pera. Nessa perspectiva, é possível observar que há uma diferença notável entre os valores de água mineral e água do Riacho Pera, água que é utilizada diariamente pelas comunidades ribeirinhas. Ao aplicar a mesma lógica utilizada na medição anterior, temos: $18 - 2 = 16$. Dessa forma, atribuímos 2 ao valor da água mineral e 16 ao valor da água do Lago Coari (meio do lago). A partir dessa análise, vemos que a água no meio do Lago Coari não é própria para o consumo.

Assim, os valores foram invertidos, realizando-se a subtração: $18 - 5 = 13$. Onde 5 foi atribuído ao valor da água mineral e 13 ao valor da água do Lago Coari (Lakeside). O valor da água do Lago Mamiá foi atribuído 15 e o valor 3 ao valor da água mineral. Com isso, é possível observar que há uma diferença notável entre os valores da água mineral e os valores da água do Lago Coari e do Lago Mamiá, água que é utilizada diariamente pelas comunidades ribeirinhas.

Neste último caso, é possível observar uma ocorrência atípica na medição quando comparada com medições anteriores, pois o valor ppm da água coletada no rio Solimões foi maior (34 ppm) do que o valor da água mineral. Assim, percebe-se que mesmo utilizando 18, que é um valor que não se alterou durante nenhuma medição, o valor permaneceu dentro da faixa de 2 a 5 nas outras 4 localidades, faixa estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), instituição brasileira cuja finalidade institucional é promover a proteção da saúde da população, por meio do controle sanitário da produção e consumo de produtos e serviços sujeitos à vigilância sanitária, incluindo ambientes, processos, insumos e tecnologias a eles relacionados. Por isso, é possível notar a grande diferença de valores entre a água mineral e a água do Rio Solimões. Essa análise indica que essa água não está dentro do limite permitido pela legislação, sendo, portanto, considerada imprópria para o consumo humano.

3.2 POTENCIAL DE HIDROGENIA (PH)

A HP pode ser considerada uma das variáveis ambientais mais importantes, sendo uma das mais difíceis de interpretar, devido a fatores como a poluição. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357 [8] estabelece que para a proteção da vida aquática o pH deve estar entre 6 e 9.

Ao somar todos os valores e fazer uma média, os valores obtidos são mostrados na Tabela 3. O pH do Lago Coari é em média 5,88, o pH médio do Lago Coari, no meio, é de 6,42, o pH médio do Lago Mamiá é de 6,69, o pH médio do Rio Solimões é de 6,27 e o pH médio do Riacho Pera é de 5,76.

Tabela 03: Valores de pH obtidos nas análises.

<i>Pontos de Coleta</i>	<i>Lago Coari –Lakeside</i>	<i>Lago Coari – Meio do Lago</i>	<i>Lago Mamiá</i>	<i>Solimões River</i>	<i>Riacho Pera</i>
<i>Potencial de Hidrogenia (pH)</i>	5.73	6.19	6.62	5.74	5.98
	5.53	6.32	6.64	6.41	6.13
	5.53	6.86	6.58	5.04	6.10
	5.53	6.40	6.56	6.16	5.43
	5.55	6.35	5.95	6.92	5.61
	5.34	6.09	5.90	6.82	6.02
	5.79	6.53	6.26	6.71	6.14
	5.08	5.79	6.70	6.21	5.74
	5.78	6.54	6.37	6.08	6.55
	5.33	6.12	6.70	5.60	5.73
	5.59	6.32	8.68	6.37	6.16
	5.27	6.20	7.19	6.25	5.85
	5.81	6.17	6.61	6.33	5.99
	5.48	6.27	6.80	5.97	6.05
	5.55	6.29	6.51	6.51	6.07
	5.55	6.45	6.52	6.09	6.08
	5.88	5.95	6.28	6.78	5.49
	6.43	7.15	7.00	6.71	6.24
	6.16	6.36	6.75	6.11	5.84
	6.59	6.92	6.76	6.39	6.13
	5.82	6.51	7.35	5.93	5.97
	7.07	6.67	6.74	6.16	5.89
	6.04	6.57	6.33	6.12	6.12
	6.92	6.58	7.57	6.23	6.21
6.35	6.77	6.45	6.59	6.17	
6.79	6.68	6.86	6.53	5.73	
6.51	6.55	6.19	6.67	6.27	

Fonte: Autores (2023).

4 CONCLUSÕES

Este artigo demonstrou uma ação que conciliou uma aplicação de sistemas embarcados através das tecnologias envolvidas e do meio ambiente. Essa conexão entre diferentes áreas permite o monitoramento da qualidade dessas águas, o que pode contribuir para a sustentabilidade ambiental por meio do monitoramento eficiente dos recursos hídricos. No futuro, esses sensores poderão ser instalados em pontos estratégicos com conexão à internet, enviando dados para plataformas online,



facilitando o acesso rápido de pesquisadores, órgãos públicos e população em geral a essas informações, identificando problemas e tomando medidas imediatas para mitigar possíveis tragédias causadas pela falta de tratamento adequado da água consumida pelas comunidades ribeirinhas. É importante destacar que a implantação dessa tecnologia requer investimentos financeiros, infraestrutura e capacitação técnica.

Além disso, este trabalho reuniu alunos de diferentes áreas e níveis, envolvendo alunos do Ensino Médio Técnico em Mecatrônica e da Pós-Graduação em Meio Ambiente e Tecnologias. Esse contato possibilitou um grande compartilhamento de conhecimentos, obtendo aprendizados relevantes para o mercado de trabalho e formação acadêmica, independentemente do nível educacional.

AGRADECIMENTOS

Este artigo é resultado do Projeto ROBÔ-EDU apoiado pela FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (FACTO), em conformidade com a Chamada Pública (Edital) nº 001/2021 do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES). Além disso, este artigo é resultado do Projeto Uso da Robótica Educacional por meio da Aprendizagem Baseada em Projetos Interdisciplinares na formação de professores em Educação Profissional e Tecnológica, apoiado pela FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DO AMAZONAS (FAPEAM), de acordo com a Chamada Pública (Edital) nº 015/2022 - PROEPT/FAPEAM. Além disso, este artigo é resultado do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento de Especialização em Meio Ambiente e suas Tecnologias (PGMAST) financiado pela FLEX IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS E MOTORES LTDA., nos termos da Lei Federal nº 8.387/1991, de acordo com o Convênio nº 014/2022 (FLEX/IFAM/FAEPI).



REFERÊNCIAS

S. Chowdhury, M. J. Mazumder, O. Al-Attas, and T. Husain. Heavy metals in drinking water: occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the total Environment*, 569, 476-488, 2016.

V. V. Daigavane, & M. A. Gaikwad. Water quality monitoring system based on IoT. *Advances in wireless and mobile communications*, 10(5), 1107-1116, 2017.

S. J. McGrane. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: A review. *Hydrological Sciences Journal*, 61, 13,2295– 13,2311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.112808>, 2016.

K. H. Vardhan, P. S. Kumar, and R. C. Panda. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 290, 111197, 2019.

M. C. Villarín & S. Merel. Paradigm shifts and current challenges in wastewater management. *Journal of Hazardous Materials*, 390, 122139, 2020.

A. Montenegro, C. Oliveira, S. Cruz, B. Cunha, V. Bremgartner, A. Araújo, F. Teixeira, W. Cativo. USING INTERNET OF THINGS AND MAKER CULTURE FOR TEACHING FIRE DETECTION SYSTEMS IN HIGH SCHOOL, *EDULEARN23 Proceedings*, pp. 6374-6379, 2023.

BRAZIL. MINISTRY OF HEALTH. Ordinance GM/MS No. 888, May 4th, 2021. Retrieved from https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html

BRAZIL. NACIONAL COUNCIL OF ENVIRONMENT, Resolution No. 357, March 17th, 2005. Retrieved from http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf