

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

TURBIDÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DA ÁGUA: UMA ABORDAGEM PRÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Matheus Ferreira Marques Saldanha¹; Regina Tiemy Kishi²; James Alexandre Baraniuk³; Laura Volpi Leão⁴; Graziela Zimkovicz Lecheta⁵; Mateus Seiji Saito⁶

Abstract: Increasing anthropogenic pressure on water resources and climate change require educational strategies that involve society in monitoring water quality. However, the high cost of commercial sensors is a barrier to their adoption in schools. This paper presents the development of a low-cost turbidity sensor as a pedagogical tool for environmental and scientific education. The project integrates interdisciplinary teaching in the assembly of the probe with basic electronic components and water quality concepts. The construction of the sensor used simple components, such as LDRs and LEDs, totaling approximately R\$ 90.00. Prototyping included an optical system sealed in a 3D housing for greater precision. Calibration was performed with standard cornstarch solutions, correlating absorbance and NTU values obtained by a commercial turbidimeter. The results showed good correlation ($R^2 = 0.93$ linear), with viability for educational use. Real samples were also analyzed, demonstrating satisfactory performance. The proposal integrates teaching, sustainability, and innovation, getting students interested in sustainability sciences from primary school onwards. Furthermore, the project can be adapted for better inclusion and teaching in water resource management.

Key words – Education; Low-cost sensors; Turbidimeter

Resumo: A crescente pressão antrópica sobre os recursos hídricos e as mudanças climáticas exigem estratégias educativas que envolvam a sociedade no monitoramento da qualidade da água. No entanto, o alto custo de sensores comerciais é uma barreira para sua adoção em escolas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sensor de turbidez de baixo custo, como ferramenta pedagógica para educação ambiental e científica. O projeto integra o ensino interdisciplinar na montagem da sonda com componentes básicos de eletrônica e conceitos da qualidade da água. A construção do sensor utilizou componentes simples, como LDRs e LEDs, totalizando cerca de R\$ 90,00. A prototipagem incluiu um sistema óptico selado em invólucro 3D para maior precisão. A calibração foi realizada com soluções padrão de amido de milho, correlacionando valores de absorbância e NTU obtidos por turbidímetro comercial. Os resultados mostraram boa correlação ($R^2 = 0,93$ linear), com viabilidade para uso educacional. Amostras reais também foram analisadas, demonstrando desempenho satisfatório. A proposta integra ensino, sustentabilidade e inovação, fazendo com que os alunos se interessem em sustentabilidade e ciências desde o ensino básico. Além disso, o projeto pode ser adaptado para uma melhor inclusão e ensino na gestão de recursos hídricos.

Palavras-Chave – Educação; Sensores de baixo custo; Turbidímetro.

1) Graduação em Engenharia Civil, UFPR, ferreiramaheus@ufpr.br
2) Departamento de Hidráulica e Saneamento, UFPR, rtkishi.dhs@ufpr.br
3) Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR, james.baraniuk@ufpr.br
4) Graduação em Engenharia Civil, UFPR, volpi.laura@ufpr.br
5) Graduação em Engenharia Ambiental, UFPR, graziela.zimkovicz@ufpr.br
6) Graduação em Engenharia Civil, UFPR, mateussaito@ufpr.br

INTRODUÇÃO

Em um cenário de crescente pressão antrópica sobre o ambiente e de mudanças climáticas, uma sociedade mais consciente, capacitada e instrumentalizada para monitorar os recursos hídricos eleva a resiliência do local. Esta estratégia de educação e monitoramento se insere nas diretrizes estabelecidas pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) para enfrentar desafios dos recursos hídricos (ANA, 2024). Destacam-se o Programa 1: Subprogramas 1.4 (Comunicação, capacitação e educação ambiental para gestão hídrica) e 1.5 (Inovação, ciência e tecnologia aplicadas à gestão de recursos hídricos); e o Programa 3: Subprograma 3.3 (Monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos).

A aplicação de projetos relacionados ao monitoramento dos recursos hídricos em escolas é uma das abordagens que pode ser utilizada para contribuir com os programas do PNRH, pois pode ser realizada em grande escala, abrangendo um grande número de alunos que posteriormente podem repassar o conhecimento para familiares. De acordo com o estudo realizado por Dhage *et al.* (2024), publicado no *International Electronic Journal of Environmental Education*, metodologias de ensino baseadas em projetos promovem um aumento expressivo no engajamento estudantil em temas socioambientais, especialmente quando aplicadas em contextos locais. Em conjunto com isso, o engajamento de estudantes em relação a atividades práticas é definitivamente maior quando comparado a atividades teóricas.

Uma variável de grande relevância no âmbito do monitoramento dos recursos hídricos e que pode ser utilizada para a aplicação em projetos nas escolas é a turbidez. A turbidez da água é causada por partículas maiores do que um micrometro suspensas na água, como argila, algas ou microrganismos, e serve como uma medida qualitativa e quantitativa da opacidade da água. A unidade de medida quantitativa da turbidez é o NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) que é normalmente medida com aparelhos como turbidímetros ou nefelômetros.

O conhecimento de valores típicos de turbidez de corpos hídricos possui grande relevância no planejamento de sistemas de tratamento de água destinados para o consumo humano e usos industriais. Para o abastecimento urbano, valores de NTU abaixo de 100, por exemplo, podem ser removidos por tratamento convencional. Porém, a água uma vez tratada deve possuir um valor de turbidez inferior a 5 NTU, tendo em vista que acima desse valor microrganismos patogênicos podem acabar não entrando em contato com a substância desinfetante (Porto *et al.*, 1991).

Essa variável é interessante para aplicação em projetos escolares, pois pode ser observada pelos alunos de forma visual, qualitativamente, ao observar as amostras, o que facilita o ensino da quantificação e conscientização da importância dessa variável. Com o ensino da medição da turbidez os alunos podem ser expostos a conhecimentos como: monitoramento ambiental, conservação de recursos hídricos, impactos das atividades humanas na qualidade da água, importância do tratamento de esgoto, ciclo da água, biodiversidade aquática, química da água e o uso de tecnologia e sensores. No entanto, um impeditivo para a aplicação de propostas como essa, é que a maioria das escolas não possui recursos suficientes para adquirir os equipamentos necessários, o que inviabiliza sua utilização em larga escala.

Uma alternativa que pode ser utilizada para substituir sensores comerciais que vêm sendo investigadas em estudos, é o uso de sensores de baixo custo baseados em microcontroladores e aplicativos para a utilização em smartphones. Em Koydemir *et al.* (2019) e Leeuw & Boss (2017) são propostos aplicativos para a utilização de smartphones como plataforma de análise. A principal vantagem em propostas como essa, é que atualmente a grande maioria das pessoas possui smartphones, sendo uma proposta mais abrangente e de aplicação mais fácil. As limitações dessa abordagem estão na diferença entre câmeras disponíveis e pelo método ser mais qualitativo. Quanto

às soluções baseadas em microcontroladores, Kelley et al. (2014) relata bons níveis de precisão, com relatos de até 90% de concordância com equipamentos comerciais. Em Ašperger-Kovačić (2019) é apresentada uma solução multiparamétrica integrada a sensores de baixo custo. Ambos os estudos demonstram relativa facilidade de construção, programação e aplicação desse tipo de solução, sendo uma das principais vantagens o seu baixo custo.

Tendo este contexto em vista, o presente artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sensor de baixo custo para realizar a medição da turbidez em amostras de água, avaliando a sua aplicação em projetos didáticos em escolas. Para a construção do sensor foi utilizada uma solução baseada na plataforma Arduino. Esse microcontrolador permite coordenar o envio, recebimento e interpretação de sinais elétricos, por meio de programação, possibilitando a sua integração com sensores. Essa é uma solução relativamente fácil de ser aplicada, pois utiliza componentes de baixo custo, amplamente disponíveis e apresenta facilidade na sua construção.

Esta atividade está dentro do projeto “Laboratório Didático de Internet das Coisas para a Sustentabilidade”, que é parte das ações de extensão na Pós-Graduação da UFPR vinculadas ao programa PROEXT-PG (CAPES). Esta ação é conduzida por estudantes de graduação e pós-graduação participantes dos projetos de Extensão Água & Ação e LUX e dos programas de pós-graduação PPGERHA e PPGEA. Este projeto visa familiarizar os estudantes de escolas com a temática de recursos hídricos e, consequentemente, fortalecer a participação social na preservação da água, integrando a educação ambiental, STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) e sustentabilidade. De modo que o projeto irá unificar o ensino de programação, eletrônica e fabricação digital à conscientização sobre preservação hídrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme apresentado anteriormente, este artigo faz parte de um projeto didático, que está dividido em três etapas, apresentadas em seguida:

- Desenvolvimento técnico do sensor de baixo custo;
- Elaboração de material didático para replicação;
- Atividade prática para validação em contexto educativo.

O foco deste artigo é a primeira etapa, embora as outras estejam interligadas e sendo executadas concomitantemente. De modo geral, estes sensores de baixo custo devem ser desenvolvidos com pelo menos duas abordagens diferentes de medição, de forma que o aluno perceba formas distintas de medir a mesma variável. Esses princípios estariam sendo discutidos no material didático, assim como conceitos de qualidade da água e sua avaliação. As atividades práticas abrangem a montagem dos sensores e seu uso em dinâmicas com jogos didáticos para avaliação da qualidade da água, correlacionando com os usos da bacia.

O grande diferencial pedagógico dessa abordagem está na conexão entre o dispositivo de medição e uma didática mais aplicada, alinhado às competências da BNCC (Base Nacional Comum Curricular). O sistema foi projetado para que estudantes do ensino básico não apenas coletem dados, mas também entendam os princípios físicos e químicos que estão por trás das medições de qualidade da água relacionados a problemas reais.

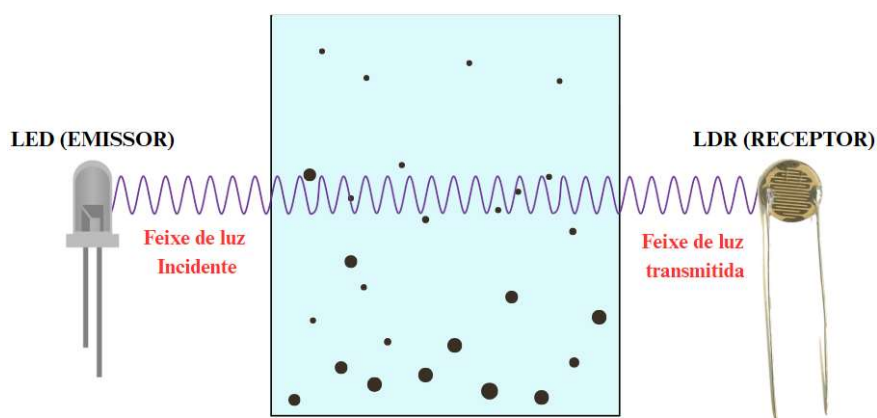
Sensor proposto para leitura de turbidez

O sensor proposto para realizar a medição dos dados de turbidez está baseada nas leituras de um sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) emitidas por um LED (*Light Emitting Diode*). O LDR é um componente que pode ser compreendido como um resistor que varia de acordo com a quantidade

de luz que incide sobre sua superfície. Quanto maior for a quantidade de luz que o sensor recebe, a resistência a corrente elétrica diminui. E quando o sensor recebe pouca luz, a resistência aumenta. A linguagem de programação utilizada foi o C++ e o IDE (*Integrated Development Environment*) utilizado foi o Arduino-IDE. É importante ressaltar que o LDR não realiza a medida da turbidez de forma direta. Quando integrado ao Arduino, é possível realizar a leitura da voltagem do sensor. O cálculo da turbidez será apresentado posteriormente neste artigo.

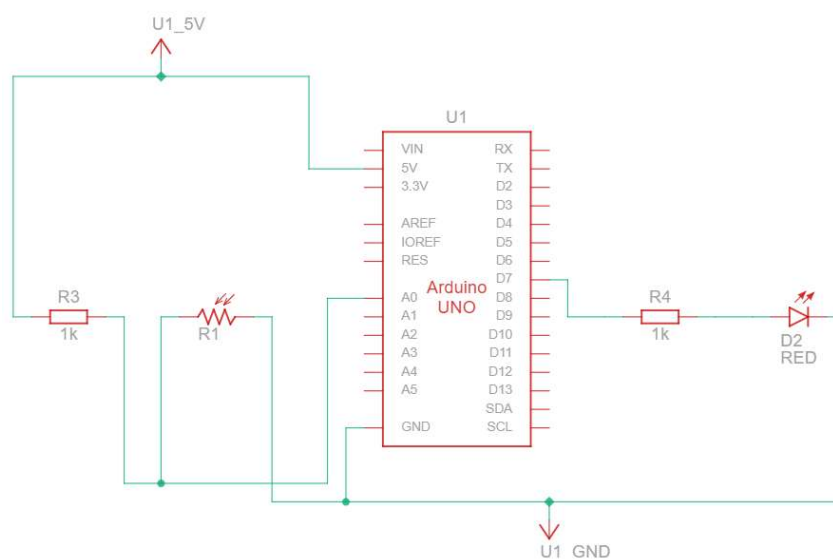
O funcionamento do protótipo está apresentado na Figura 1. Inicialmente o LED irá gerar um feixe de luz que irá incidir na amostra de água. Parte da luz será desviada ao incidir nos sólidos suspensos durante o trajeto pela amostra de água. Por fim, o LDR irá medir a quantidade de luz que foi transmitida pela amostra.

Figura 1 – Funcionamento do sensor proposto
Amostra de água



Na Figura 2 está apresentado o diagrama esquemático do circuito eletrônico para funcionamento do protótipo.

Figura 2 – Diagrama esquemático do protótipo



Seleção de hardware e componentes

Neste trabalho foram usados materiais acessíveis com baixo custo e montagem simplificada. Estes materiais estão apresentados na Tabela 1, em conjunto com as especificações, quantidades e preços. A soma total dos preços dos componentes resultou em R\$ 90,00, o que é um preço consideravelmente acessível, quando comparado aos preços de medidores convencionais.

Tabela 1 – Materiais utilizados para a construção do sensor e orçamento

Componente	Especificação	Quantidade	Preço
Arduino UNO R3 + cabo USB	Uno R3 SMD CH340	1	R\$ 49,90
Light Dependant Resistor	Sensor fotoresistor ldr de 5mm	1	R\$ 0,60
Light Emiting Diode (LED)	Led de alto brilho 5mm branco	1	R\$ 0,38
Protoboard	Protoboard 400 pontos	1	R\$ 8,36
Jumpers M - M	jumpers machos - macho 10cm	3	R\$ 3,00
Jumpers M - F	jumpers machos - fêmea 20cm	4	R\$ 4,00
Case 3d	case impressa 3d	1	...
Recipiente para amostras	Preferência por potes cúbicos de vidro	4	R\$ 5,00
Água destilada	1L	1	R\$ 10,00
Amido de milho para soluções	apenas um pacote para todos.	1	R\$ 5,00

Protocolo de calibração

Os valores de NTU foram obtidos por meio de uma correlação com os valores de absorbância medidas nas amostras de referência, apresentadas no próximo item. A absorbância (A) pode ser calculada por meio da equação (1), onde V representa os valores de voltagem obtida pelo feixe de luz transmitido, enquanto V_0 é a voltagem medida pelo feixe de luz incidente.

$$A = -\log_{10} \left(\frac{V_0}{V} \right) \quad (1)$$

Após esses valores de absorbância terem sido calculados para cada amostra, foi realizada uma análise de correlação com os valores de NTU conhecidos.

Amostras para calibração

Para a calibração do sensor de turbidez, foram fabricadas amostras utilizando uma solução de amido de milho e água destilada, conforme as proporções apresentadas na Tabela 2. Posteriormente, o valor de turbidez dessas amostras foi medido com o turbidímetro comercial, modelo DLT WV, da marca DEL LAB. Previamente, foi realizada a calibração do turbidímetro com amostras de referência, com valores de turbidez inferiores e equivalentes a 10 NTU, 100 NTU e 800 NTU.

O uso de amido de milho na confecção de soluções padrão foi feito tendo em vista que os padrões convencionais feitos com formazina não são tão acessíveis para o público geral, devido ao seu custo mais elevado.

Tabela 2 – amostras fabricadas com amido de milho

Amostra	Água (mL)	Amido (mg)	Turbidez (NTU)
1	300	4	5
2	300	10	15,2

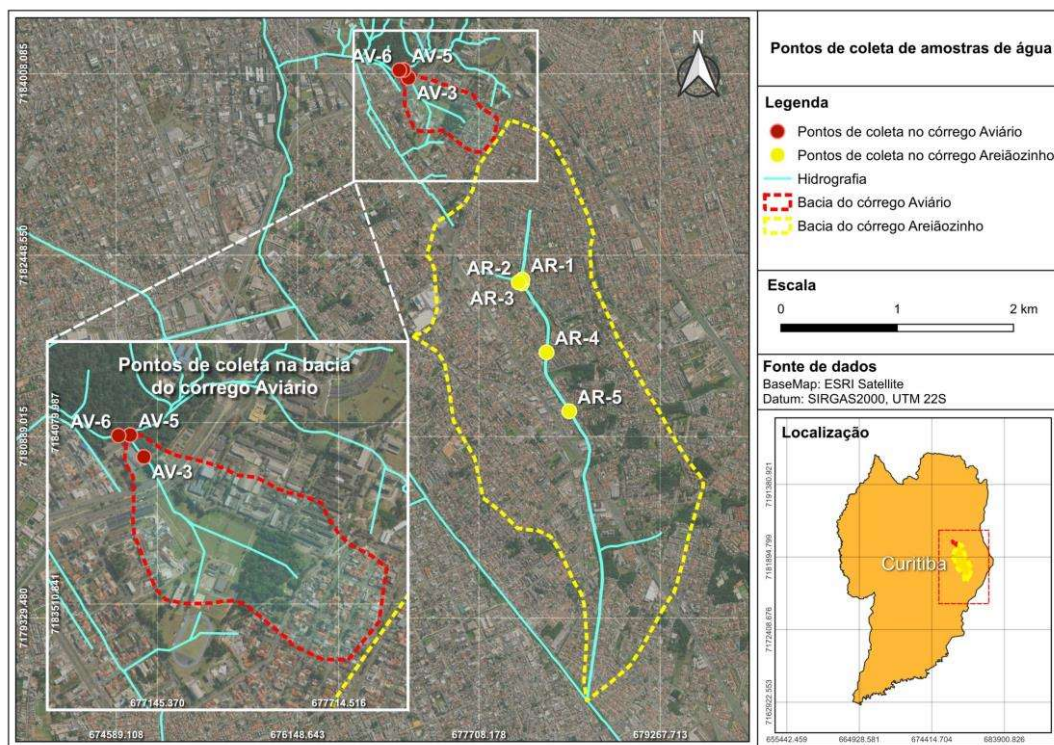
Amostra	Água (mL)	Amido (mg)	Turbidez (NTU)
3	300	60	43,5
4	300	200	236
5	300	980	487
6	300	1400	711

Aplicação

Para avaliar a precisão do sensor construído, foram realizadas medições em amostras de água coletadas no córrego do Aviário e no córrego Areiãozinho. Na Figura 3 está apresentada a localização dos pontos onde foram coletadas amostras de água, sendo três no Córrego do Aviário e 5 no Areiãozinho.

A medição da turbidez dessas amostras foi verificada inicialmente por meio de um sensor convencional, do modelo 2100q e marca HACH. Posteriormente esses valores foram comparados com a medição realizada com o sensor de baixo custo.

Figura 3 – Pontos de coleta de amostras



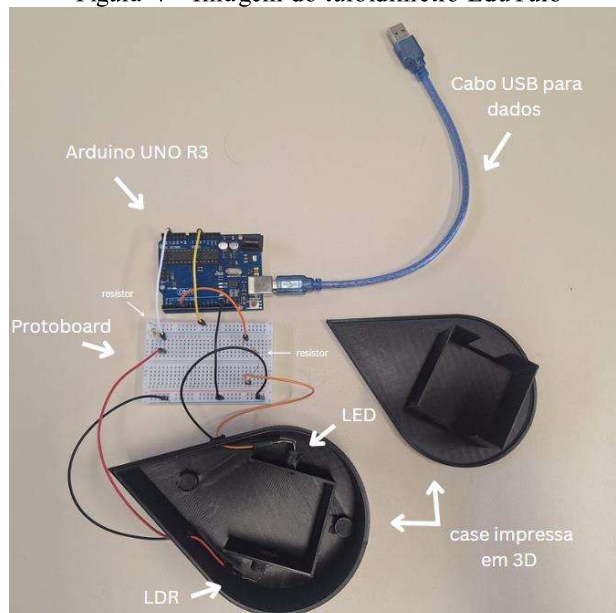
RESULTADOS

O protótipo EduTurb

Na Figura 2 está apresentado o turbidímetro educacional construído EduTurb. É possível observar a indicação na imagem dos componentes utilizados na construção do protótipo. Para evitar interferências nas leituras, foi construído um invólucro opticamente selado, uma vez que a luz externa pode interferir nas leituras do LDR. Esse invólucro, em formato de uma gota de água, foi fabricado

no LampI-Laboratório de Modelagem, Prototipagem e Inovação da UFPR, utilizando impressão 3D. Outro fator diferencial desse projeto é a integração de conhecimentos transversais e interdisciplinares.

Figura 4 – Imagem do turbidímetro EduTurb



Resultados da calibração e validação do EduTurb

Na Figura 5 está apresentada a análise de correlação realizada entre os valores de absorvância e os valores de NTU conhecidos. Entre as alternativas, avaliou-se um ajuste para a correlação por meio de uma equação potencial e linear. Apesar do valor de R^2 do ajuste linear ter resultado superior (0,93) ao ajuste potencial (0,89), os desvios absolutos médios obtidos pela equação potencial (20%) foram menores, em relação aos dados calculados com a equação linear (120%).

Figura 5 – Correlação entre valores de NTU conhecidos e absorvância

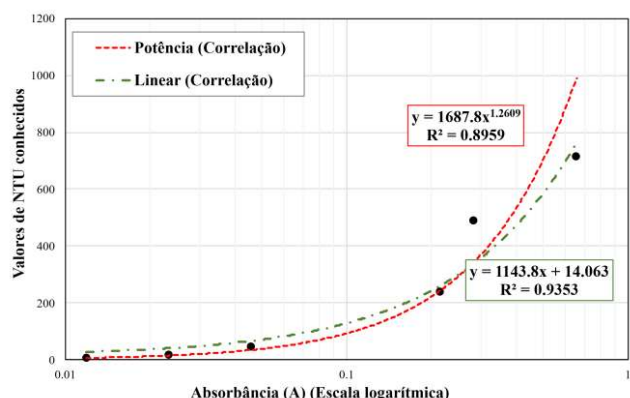
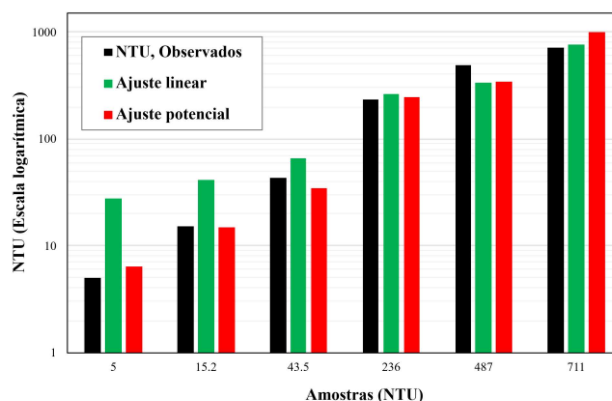


Figura 6 – Valores de NTU observados e calculados pelas equações linear e potencial



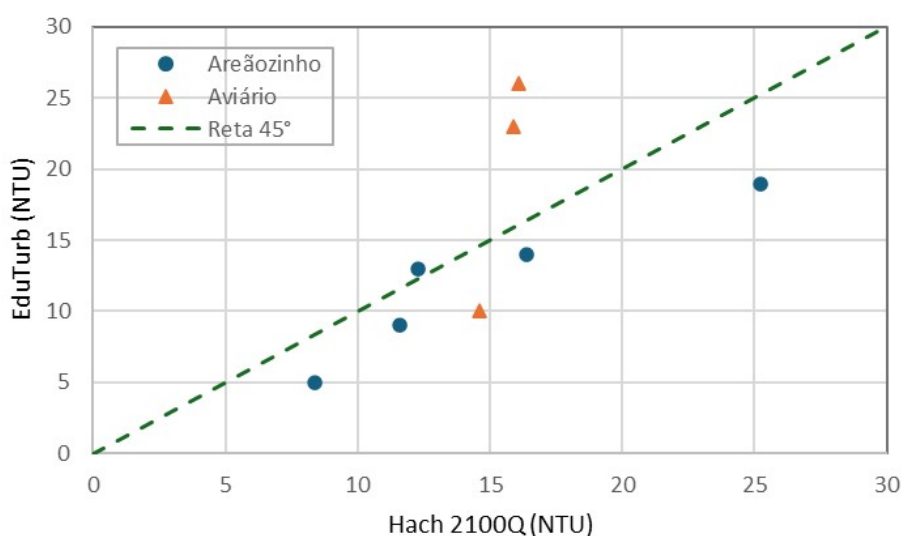
Na Figura 6 é possível observar que a equação potencial obtida, apresenta um melhor ajuste para o cálculo de valores de NTU iguais ou inferiores a 200, uma vez que valores acima desse valor apresentam uma dispersão bastante elevada. A equação linear, por sua vez, apresentou melhor desempenho com valores de NTU mais elevados, e superestimação de valores de NTU menores.

Para avaliar o EduTurb para uso em rios urbanos, foram realizadas medições em amostras de água coletadas em dois córregos da região. Na Tabela 3 e na Figura 7 estão apresentadas as medições realizadas pelos dois sensores.

Tabela 3 – Medição de turbidez por dois sensores em amostras coletadas em dois córregos

Corpo Hídrico	Código do Ponto	EduTurb (NTU)	Turbidímetro HACH 2100Q (NTU)	Diferença (NTU)	Diferença (%)
Córrego do Aviário	AV-3	26	16	-10	63
	AV-5	23	16	-7	44
	AV-6	10	15	5	33
Rio Areãozinho	AR-1	19	25	6	24
	AR-2	9	12	3	25
	AR-3	14	16	2	13
	AR-4	5	8	3	38
	AR-5	13	12	-1	8

Figura 7 – Turbidez medida no EduTurb versus turbidímetro Hach 2100Q



A diferença observada nas medições entre os dois sensores de turbidez em diferentes corpos hídricos pode ser explicada por vários fatores, incluindo as características dos sólidos suspensos e a metodologia da medição de cada sensor.

Sobre os dados dos corpos hídricos foi possível observar que os dados obtidos com o turbidímetro educacional EduTurb sofreram variações significativas em comparação ao turbidímetro comercial, especialmente no Córrego do Aviário. Contudo, dados no Córrego Areãozinho foram mais consistentes. A maior discrepância ocorreu em amostras do Córrego do Aviário, o que pode ter sido influenciada pela presença de bolhas, sólidos dissolvidos, que não se caracterizam com sólidos suspensos, mas interferem na transmissão da luz emitida pelo LED.

A turbidez é afetada não apenas pela concentração de sólidos suspensos, como também pelo tamanho, forma, índice de refração e tipo (orgânico ou inorgânico) das partículas suspensas, consequentemente, se um rio tem partículas maiores e outro menores; ou predominantemente

orgânico e outro inorgânico, a resposta dos sensores pode variar, dependendo da forma como foi construído para compensar essas variações.

Embora turbidímetros de alta performance utilizem detectores múltiplos e algoritmos avançados para compensar interferências, os resultados apresentados pelo EduTurb demonstrou consistência aceitável para o Córrego Areiãozinho, que provavelmente possui características físico-químicas mais estáveis que do Córrego do Aviário. O coeficiente de correlação linear entre as medições dos dois sensores foi de 0,87, indicando uma relação estatisticamente robusta e plausibilidade nos dados.

Para o Córrego do Aviário, os resultados demonstraram significativa discrepância entre os sensores. A presença de espumas *in situ* indica condições ambientais particulares, sugerindo a ocorrência de interferentes como matéria orgânica dissolvida, que absorve comprimentos de ondas específicos; tensoativos, responsáveis pela formação de espumas, as quais podem tanto agregar partículas (aumentando a turbidez aparente), quanto formar micelas que absorvem luz, reduzindo a turbidez medida. Esses fatores comprometem a acurácia do sensor construído que opera com detecção simplificada por transmissão e espalhamento frontal, sem os mecanismos de compensação presentes num equipamento comercial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do EduTurb baseado em microcontroladores Arduino demonstrou viabilidade técnica e econômica tanto para fins de aplicação educacional STEM quanto para monitoramento ambiental simplificado.

Apresentou um custo que é cerca de cinco vezes menor do que soluções comerciais mais acessíveis. É de fácil fabricação, visto que utiliza apenas materiais introdutórios, processos simplificados e montagem segura em sala de aula, sem necessidade de ferramentas especializadas.

A plataforma é integradora para ensino de princípios de óptica (transmissão e espalhamento luminoso), programação básica (Arduino) e metodologia científica (coleta e análise de dados), unindo aplicação prática de projetos interdisciplinares (STEM) no ensino com foco nos recursos hídricos.

Espera-se avanços na formação profissional e na pesquisa para enfrentar os desafios de mudanças climáticas, eventos extremos e poluição ambiental. O estímulo de jovens e crianças ao estudo de ciências e soluções voltadas à sustentabilidade, e ao uso de novas tecnologias como programação, eletrônica e fabricação digital, contribuem para os ODS e levam à produção de novos conhecimentos e inovação em temas estratégicos para o país: internet das coisas e meio ambiente.

Este protótipo inicial, desenvolvido com os materiais disponíveis, demonstrou a viabilidade técnica e educacional da solução proposta. Como primeiro produto, cumpriu seu papel de validar o conceito e estabelecer uma base para melhorias. Com o recebimento dos recursos financeiros, planeja-se desenvolver novas etapas que vai permitir maior versatilidade didática, através de experimentos comparativos e maior abrangência dos conceitos ópticos de forma prática. Essas etapas consistem em implementar um detector LDR a 90° do LED para medição da luz dispersa, visto que o sensor atual a 0° do LED mede a transmissão da luz emitida, que pode ter interferências de substâncias que absorvem luz em transmissão, e assim conseguir diferenciar partículas suspensas que espalham luz lateralmente de interferentes que absorvem luz. Outra etapa seria a implementação de um LED infravermelho (NIR) para substituição do atual, visto que reduz a interferência causada pela cor da água, o que seria ideal para medições em campo onde a água possui composição variada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do programa PROEXT-PG (CAPES). Matheus Ferreira Marques Saldanha agradece o apoio recebido por meio da bolsa de extensão da PROEC-UFPR.

REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2024: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. - Brasília: ANA, 2024.
- AŠPERGER, D.; KOVAČIĆ, M. Low-cost turbidimeter, colorimeter, and nephelometer for the student laboratory. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 96, n. 12, p. 2649-2654, 2019.
- DHAGE, P.; ALEX, A.; ANSARI, A.; et al. (2024). “Innovative teaching methods for environmental education: A case study of project-based learning”. *International Electronic Journal of Environmental Education*, 14(1), pp. 1–15.
- KOYDEMIR, H. C. et al. Smartphone-based turbidity reader. **Scientific Reports**, London, v. 9, n. 1, p. 19901, 2019.
- KELLEY, C. D. et al. An affordable open source turbidimeter. **Sensors**, Basel, v. 14, n. 4, p. 7142-7155, 2014.
- LEEUW, T.; BOSS, E. The HydroColor App: Above Water Measurements of Remote Sensing Reflectance and Turbidity Using a Smartphone Camera. *Sensors*, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 256, jan. 2018. DOI: 10.3390/s18010256. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/1/256>.
- PORTO, R. L. L. BRANCO, S. B. CLEARY, R. W. COIMBRA, R. M. EIGER, S. LUCA, S. J. NOGUEIRA, V. P. Q. PORTO, M. F. A. (1991). *Hidrologia Ambiental 3*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 431 p.