

DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA TURBIDEZ DA ÁGUA

Michael Santana Reis
michaelsantana33@gmail.com

Gilderlan Rodrigues Oliveira
rodriguesufeg@yahoo.com.br

Halana Santos Lisboa
halanalisboa17@gmail.com

Resumo – A fim de ressaltar a questão da gestão dos recursos hídricos no Brasil e provocar uma reflexão da importância de se analisar a qualidade da água de modo a garantir sua disponibilidade às futuras gerações, esse trabalho busca desenvolver o sensor de turbidez de baixo custo que auxilie no gerenciamento e monitoramento ambiental. Na implementação, para este projeto, foram utilizados fotodetectores LDRs e, para aquisição e análise dos dados, o Arduino. Para quantificação das partículas em suspensão, utilizou-se um algoritmo baseado nos métodos nefelométrico (90) e de turbidimetria (180), a programação visa buscar, em meio a passagem do fluxo de água, tanto a melhor disposição dos sensores de luminosidade, 90° ou 180°, quanto o melhor comprimento de onda, por meio da varredura de diferentes cores do RGB. Este projeto busca unir diferentes aspectos do estado da arte no que diz respeito aos sensores de turbidez desenvolvidos em trabalhos anteriores. Essa informação relacionada à turbidez é ideal para definir a dosagem de substâncias no processo de tratamento da água. Para o nosso trabalho a curva de calibração resultou num $R^2 = 0,9955$, onde pode-se concluir que ela se ajusta bem as amostras.

Palavras-Chave: Sensor; Turbidez; arduino; tratamento;

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a manutenção e existência da vida. Apesar de 2/3 da superfície da Terra ser recoberta por

massas líquidas, a água doce não representa mais do que 2,5% desse total. De acordo com Tundisi (2003) desse total, 68,9% correspondem às geleiras e calotas polares situadas em regiões montanhosas; 29,9% são águas subterrâneas; 0,9% compõem a umidade do solo e pântanos e apenas 0,3% constitui a água doce armazenada nos rios e lagos, efetivamente disponível para uso em diferentes atividades.

Atualmente o Brasil ocupa uma posição privilegiada em relação a outros países, dispondo da maior reserva de água doce do Planeta, equivalente a 12% do total mundial (águas). Apesar dessa grande concentração de água doce, sua distribuição não é uniforme em todo o território nacional e em boa qualidade.

Monitorar a qualidade da água está entre os desafios de um bom gerenciamento hídrico, e visa, como exposto nos objetivos da Lei nº 9.433/97, a disponibilidade da água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei no 9.433).

Estão dentro dos principais parâmetros analisados para controle da qualidade da água: o pH, a turbidez, a condutividade elétrica, a temperatura e oxigênio dissolvido (CONAMA, 2005). Dentre esses parâmetros, a turbidez tem se destacado como um importante indicador de qualidade da água, em função de que sua variação, indica ou aumento de matéria em suspensão ou impurezas que interferem na sua limpidez (ANA, 2005).

Segundo García *et al.*, 2007, a turbidez é uma expressão da propriedade ótica que causa a dispersão da luz por partículas e moléculas ao invés destes feixes de luz atravessarem uma porção de água. Simplificadamente, a turbidez

representa a transparência relativa da água. Muitas técnicas e métodos estão disponíveis para quantificar a turbidez em uma amostra de água, mas os mais precisos são a turbidimetria e a nefelometria. Estes métodos usam uma fonte de luz que incide sobre uma amostra e capturam tanto a luz transmitada quanto a luz dispersada (GARCÍA *et al.*, 2007). A turbidimetria é um método de determinação da turbidez baseado na atenuação do feixe de luz incidente que cruza diametralmente a amostra e que encontra o detector posicionado a 180° da fonte de radiação (MARTINS, 2012). Diferentemente, a nefelometria, a determinação da turbidez ocorre partir da quantidade de luz espalhada que chegou ao detector localizado a 90° da fonte emissora (Santos, 2009).

Atualmente alguns trabalhos vêm empregando o uso de microcontroladores na construção de turbidímetros. Foi observado que os equipamentos desenvolvidos em trabalhos anteriores não mediam a turbidez de água potável, pois os valores devem se manter no máximo até 1 NTU para esta finalidade.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo construir um sensor de turbidez de baixo custo capaz de medir a turbidez da água em tempo real e fluxo contínuo, desde níveis que sejam próprios para o consumo humano até concentrações mais elevadas, como para descarte industrial de efluentes.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A configuração mais utilizada da posição do sensor de luminosidade em relação ao emissor de luz que atravessa o fluxo de água, segundo Lambrou, [1], é 90°, esse aspecto construtivo também pode ser visto em Kelley, Christopher D., *et al.* (2014) e de acordo com outras obras como Metzger, Michael, *et al.* (2018) e Zang, Zhenzhong, *et al.* (2020), apresenta boas respostas para baixos valores de turbidez.

Assim também é apresentado em Metzger, Michael, *et al.* que a medição da turbidez por meio da dispersão de luz é melhor para valores

baixos de turbidez, o que pode-se traduzir como ideal para monitoramento de água para consumo, visto que os valores máximos devem ser de 1 NTU, bem como especificado em WADLER *et al.* (2018), para o trabalho de Metzger foi obtida uma sensibilidade de 0.1 NTU.

Para o estado da arte Sampedro, Óscar e José Ramón Salgueiro [3] fazem a utilização do emissor de luz um LED RGB e um Infravermelho, porém para o RGB foram utilizadas apenas as cores base (vermelho, verde e azul) e realizam a análise da turbidez pela resposta do sensor de luminosidade para os quatro comprimentos de onda para concluir qual apresenta maior sensibilidade e melhores respostas.

No trabalho de WADLER *et al.* (2018) foi proposta uma solução de baixo custo de um equipamento de monitoramento de turbidez em fluxo contínuo, tal sensor é composto por uma redundância de três LDRs, (*Light Dependent Resistor* ou Resistor dependente de luz ou fotoresistência), GL5528 e um BH175. Foram utilizadas tanto a configuração em 90° quanto a de 180° e analisado o desempenho dos sensores. Porém o artigo que propôs o sensor de baixo custo não se preocupou em detalhar o porquê da utilização dos espectros de luz verde e vermelho e definiu uma única forma para o sensor.

Este projeto busca unir e automatizar diferentes aspectos do estado da arte no que diz respeito aos sensores de turbidez desenvolvidos em trabalhos anteriores.

MATERIAL E MÉTODOS

A abordagem utilizada neste projeto seguiu um plano de trabalho, a começar foi realizada a análise das técnicas e tecnologias empregadas em outros trabalhos, a visualização da teoria envolvida e de terminologias necessárias para entendimento do projeto, a partir daí foi decidido o escopo do projeto, bem como foi obtida a visão do sensor de turbidez ideal a ser almejado.

No que diz respeito a pandemia do COVID-19, para se adaptar às mudanças

causadas por esse novo cenário mundial, foi preciso definir os meios ao qual seria dado continuidade na execução e construção do sensor de turbidez.

Para projetar o sensor de turbidez foi utilizada a ferramenta TinkerCARD, após a definição da arquitetura a ser utilizada na construção do sensor, o projeto do mesmo foi elaborado no TinkerCAD e assim definido os materiais e recursos necessários para construção do protótipo em casa pelo autor.

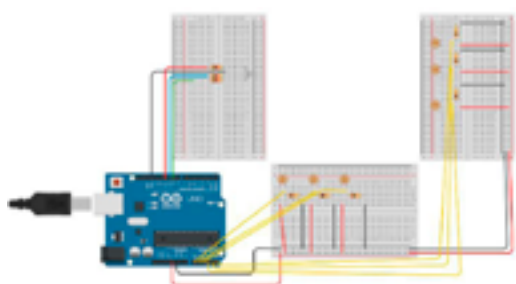


Figura 1 – Projeto do sensor de turbidez elaborado no Tinkercad.

Componente	Quantidade
LED RGB	1
LDR	6
Arduino UNO	1
Jumpers	24
Resistores de 10k	6
Resistores de 220	3

Tabela 1 – Lista dos componentes requeridos para montagem do primeiro protótipo.

O Arduino foi utilizado para aquisição e análise dos dados, o algoritmo desenvolvido inicia uma varredura com intensidade máxima no comprimento de onda de 380 nm, mudando gradualmente até 740 nm, esses comprimentos de onda estão relacionados ao espectro da luz

visível e englobam todas as cores existentes.

Para varredura de cores o LED RGB é ideal, composto por 3 cores fundamentais, R=RED (Vermelho), G=GREEN (Verde) e B=BLUE (Azul). A partir dessas três cores é possível varrer todas as cores possíveis do espectro da luz visível.

A figura 2 abaixo ilustra justamente o funcionamento do RGB, onde cada uma das três cores estão separadas por vírgula e podem variar a intensidade luminosa de 0 a 255, sendo 0 equivalente a ausência daquela cor (desligada) e 255 a intensidade máxima da cor (vermelha, verde, azul) respectivamente.

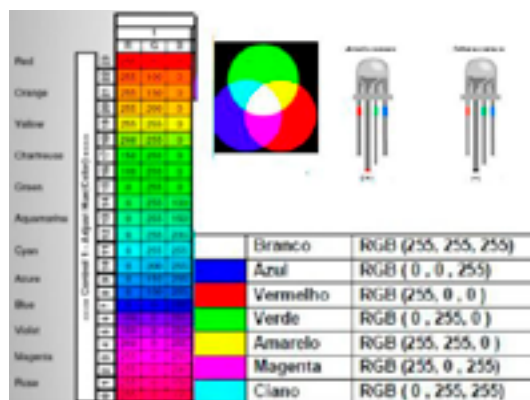


Figura 2 – Cores utilizadas para varredura inicial do protótipo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para alcançar os objetivos desse projeto foi feita a implementação do código de varredura e de seleção do comprimento de onda, bem como a aquisição de amostras para validação dos resultados.

Montagem do protótipo

Uma primeira versão do protótipo foi colocada em funcionamento, uma proteção de luminosidade externa foi pensada e construída em isopor com cobertura de papelão, utilizando cola quente e todo o interior da cobertura para o sensor foi coberto com fita isolante para minimizar ao máximo a reflexão interna.

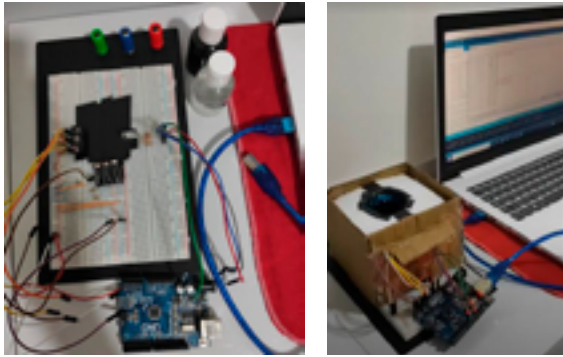


Figura 3 – Protótipo montado e protegido de interferências da luz externa, em funcionamento.

Calibração

Para o aperfeiçoamento do sensor e sua devida calibração foram adquiridas amostras com valores de turbidez tabelados, tais amostras foram disponibilizadas pela empresa Deso.

As amostras então foram colocadas uma a uma, do menor valor em NTU até o maior valor, no total foram analisadas 10 amostras com valores de turbidez organizados de forma crescente e lidos em triplicatas.

No arduino a programação foi feita de forma que o LED RGB varresse uma gama de 24 cores variando seus espectros do violeta ao vermelho, comprimentos de onda mostrados na primeira coluna da figura 2 de cores, do menor ao maior comprimento de onda.

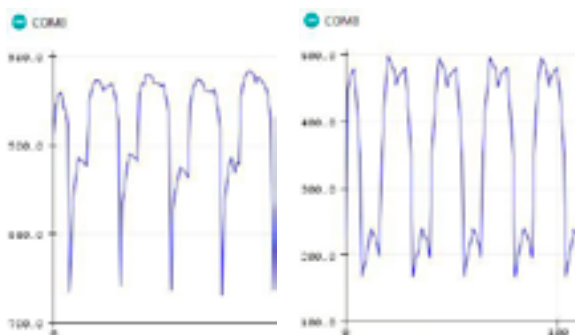


Figura 4 – Leitura média dos LDRs a 90°(esquerda) e 180°(direita) mediante a varredura. Leitura média dos LDRs a 90°(esquerda) e 180°(direita) mediante a varredura.

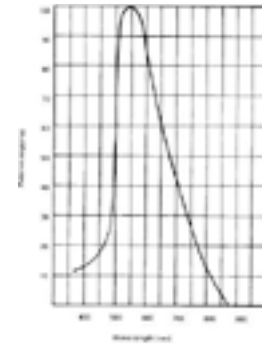


Figura 5 – Sensibilidade do LDR a cor amarela, obtida no datasheet do componente, sensibilidade vs comprimento de onda.

Em analogia com a sensibilidade do componente (figura 5), é possível observar que a sensibilidade para o comprimento de onda da cor amarela, observada na figura 5, é comprovada pelo pico registrado da leitura do LDR em ambas as leituras.

Porém mesmo com o pico no espectro de cor amarelo a literatura trata o comprimento de onda da cor vermelha como o melhor parâmetro para fazer a leitura de turbidez. Isso pode ser compreendido devido a um segundo pico no comprimento de onda da cor vermelha, que acontece mesmo que o componente tenha baixa sensibilidade nessa zona, quando comparada com o espectro de 500 a 600 nm.

No espectro de cor vermelha a 90°, para cada uma das 10 amostras, foram feitas 3 medidas de turbidez e tirada a média. Logo após foram colocadas na forma de gráfico e assim definida a curva, a equação polinomial que melhor descrevesse a distribuição da turbidez das leituras e o coeficiente de determinação.

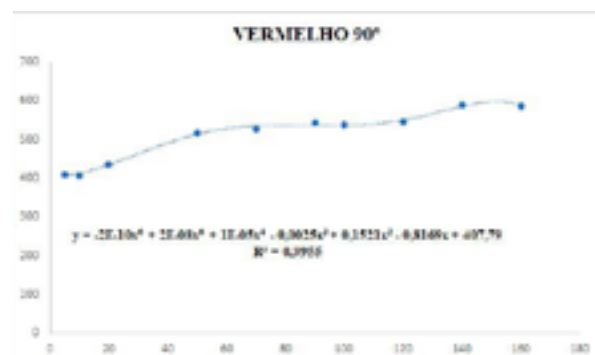


Figura 6 – Curva de calibração do sensor de turbidez a 90°, $R^2 = 0,9955$.

Os pontos foram obtidos por média das triplicatas, tirada a média de três leituras para cada amostra.

CONCLUSÕES

Esse projeto contribui de um modo efetivo e prático com a formação acadêmica dos envolvidos através da transferência de ensino-aprendizagem. Outro ponto importante a se destacar é que alguns países e laboratórios possuem recursos limitados e necessitam de instrumentos de baixo custo que forneçam informações qualitativas e quantitativas de natureza química. Existe também uma grande necessidade de instrumentos autônomos de baixo custo que auxiliem no monitoramento da qualidade da água. Para o nosso trabalho a curva de calibração resultou num $R^2 = 0,9955$, onde pode-se concluir que ela se ajusta bem às amostras. É visado futuramente testes do uso do sensor num ciclo fechado, bem como sua automatização e aplicação em planta de tratamento de água.

REFERÊNCIAS

Lambrou, Theofanis P., Christos C. Anastasiou, and Christos G. Panayiotou. "A nephelometric turbidity system for monitoring residential drinking water quality." *International Conference on Sensor Applications, Experimentation and Logistics*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.

Kelley, Christopher D., et al. "An affordable open-source turbidimeter." *Sensors* 14.4 (2014): 7142-7155.

Sampedro, Óscar, and José Ramón Salgueiro. "Turbidimeter and RGB sensor for remote measurements in an aquatic medium." *Measurement* 68 (2015): 128-134.

Metzger, Michael, et al. "Low-cost GRIN-lens-based nephelometric turbidity sensing in the range of 0.1–1000 NTU." *Sensors* 18.4

(2018):1115.

Zang, Zhenzhong, et al. "A novel low-cost turbidity sensor for in-situ extraction in TCM using spectral components of transmitted and scattered light." *Measurement* (2020):107838.

WADLER L. B. MORAES, LUCIO G. B. OLIVEIRA, GABRIEL A. FILGUEIRA, MARCELO H. Z. SOUZA, TURBIDÍMETRO DE FLUXO CONTÍNUO. XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018, 06, 07 e 08 de agosto de 2018, Brasília, DF, Brasil

Tundisi, José Galizia. "Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado." *Ciência e Cultura* 55.4 (2003):31-33.

Tundisi, José Galizia. "O futuro dos recursos hídricos." *Revista MultiCiência* 1 (2003):1-15.

Brasil. "Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989." *Diário Oficial da União*(1997).

Conama, Resolução. "357, de 17 de março de 2005." *Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA 357*(2005).

Teixeira, Ana Raquel, et al. "I-042–COMPARAÇÃO DO TRATAMENTO DE ÁGUA COM BAIXA TURBIDEZ POR FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE E DESCENDENTE." (2005).

Pérez, Miguel A., Antonio García, and Jesús A. Baro. "Optical fiber turbidimeter for full range measurement in wine industrial processes." *2007 IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference IMTC 2007*. IEEE, 2007.