

## TURBIDÍMETRO DE FLUXO CONTÍNUO

WADLER L. B. MORAES<sup>1</sup>, LUCIO G. B. OLIVEIRA<sup>2</sup>, GABRIEL A. FILGUEIRA<sup>3</sup>,  
MARCELO H. Z. SOUZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Sinop - MT, (0xx65) 99693-3468, wadler.luis@gmail.com. <sup>2</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental, Prof. Mestre ICAA/UFMT, Sinop - MT.

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, ICAA/UFMT, Sinop - MT

Apresentado no  
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018  
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

**RESUMO:** Cerca de 80% das águas residuárias do mundo são liberadas no meio ambiente sem tratamento, assim sendo, é fundamental controlar a deposição de efluentes. A turbidez é dada pela quantidade de sólidos dissolvidos na água podendo servir de abrigo e transporte para microrganismos prejudiciais à saúde. Este trabalho se propôs a construir um equipamento capaz de monitorar turbidez da água em tempo real, com precisão para determinação desde água potável até para descarte industrial. Para sua construção foram utilizados dois emissores de luz, operando no comprimento de 650 nanômetros e 535 nanômetros; sensores de luz a 180° e 90° do emissor, destes, três analógicos (LDRs GL5528) e um digital (BH1750). Os dados foram lidos no arduino YÚN armazenados em SD e enviados para um servidor web para ser acessado remotamente. Para a calibração comparou-se leituras de um turbidímetro comercial AP2000 com as geradas pelo instrumento construído. Para turbidez de 0 a 100 atingiu-se um R<sup>2</sup> de 0,9929 e de 100 a 1000 R<sup>2</sup> 0,9737. O sensor digital assim como o emissor de 535 nanômetros não apresentou respostas satisfatórias. Portanto, sensores (analógicos) e emissor (650 nanômetros) de menor custo demonstraram melhores resultados para este experimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arduino, Instrumentação, Turbidímetro.

## CONTINUOUS FLOW TURBIDIMETER

**ABSTRACT:** About 80% of the world's wastewater is released into the environment without treatment, so the controlling the effluent deposition is critical. Turbidity is given by the amount of dissolved solids in the water and can serve as shelter and transport for microorganisms that are harmful to health. This work intends construct an equipment able to monitor turbidity of the water in real time, with precision for determination potable water and for industrial discard. For its construction were used two emitters of light, operating in the length of 650 nanometers and 535 nanometers; light sensors at 180° and 90° of the transmitter, of these, three analog (LDRs GL5528) and one digital (BH1750). The data was read in the arduino YÚN stored in SD and sent to a web server to be accessed remotely. For the calibration it was compared readings of an AP2000 commercial turbidimeter with those generated by the builded instrument. For turbidity from 0 to 100 a R<sup>2</sup> of 0.9929 was reached and from 100 to 1000 R<sup>2</sup> 0.9737. The digital sensor as well as the 535 nanometer emitter did not present satisfactory answers. Therefore, lower cost sensors (analog) and transmitter (650 nanometers) showed better results for this experiment.

**KEYWORDS:** Arduino, Instrumentation, Turbidimeter.

## INTRODUÇÃO

A água é algo fundamental e insubstituível, sendo responsável pela sustentação da vida e sem ela a vida deixaria de existir. Apesar dos esforços para diminuir seu consumo, está se tornando cada vez mais escassa, e sua qualidade se deteriora em uma velocidade cada vez mais rápida (FREITAS & ALMEIDA, 1998.).

Apenas 0,8% da água do planeta compõe a fração de água doce, e deste, apenas 3% se encontra na forma superficial. Destacando assim a obrigação da preservação dos rios e lagos, uma vez que utiliza-los consome menor recurso (VON SPERLING, 1996).

Dentre os inúmeros métodos e sistemas disponíveis para encontrar a turbidez em amostra de água, destacam-se os métodos que utilizam fonte de luz incidente sobre a amostra capturando a luz transmitida e a luz dispersada. Com a razão destas medidas determina a turbidez em unidades nefelométricas de turbidez - UNT (em inglês *NTU*) (GARCÍA et al., 2007).

A turbidimetria é o método que analisa a luz transmitida; neste processo é medido o quanto de luz se perde na amostra, com a diminuição da quantidade de luz que chega ao outro lado com o sensor posicionado a 180° do feixe de luz incidente, já na nefelometria é analisado a luz dispersada; neste caso é medido o quanto de luz se é dispersa na amostra com aumento da quantidade de luz que chega ao outro lado com sensores a 90°. (MORAIS E RANGEL, 2006).

Sensores de luz funcionam basicamente através de um material semicondutor que muda a sua resistência conforme a luz incide sobre ele, essa mudança pode ser correlacionada com a quantidade de lumens, lux ou outras unidades de medidas de luz. (ROHM Semicondutor, 2011).

O conceito micro controladores open-Source (Código aberto) baseada em hardware e software livre, surgiu na Itália com o projeto Arduino no ano de 2005, com o objetivo de criar um dispositivo para controlar projetos e protótipos construídos, com menor custo que outras plataformas disponíveis no mercado. A plataforma Arduino possibilita desenvolver ferramentas nas áreas de automação e robótica (SILVA, 2014).

Atualmente, o número de trabalhos que emprega microcontroladores para resolver soluções automáticas individuais é cada vez maior. É possível destacar o turbidímetro (MARTINS, 2012), este teve por objetivo realizar medições de turbidez da água para auxiliar na avaliação da qualidade dos efluentes líquidos emitidos pelas indústrias, em geral. O autor produziu um Turbidímetro capaz de medir de 16 a 4000NTU, neste caso o equipamento não mede turbidez de água potável, pois os valores devem se manter no máximo até 1 NTU para esta finalidade.

Este trabalho teve como objetivo construir um equipamento de baixo custo capaz de medir a turbidez da água em tempo real, desde níveis que sejam próprios para o consumo humano até concentrações mais elevadas, como para descarte industrial.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no laboratório de controle e automação da universidade federal do estado de Mato Grosso (UFMT) campus Sinop. Para construção do turbidímetro foram utilizados dois tipos diferentes de lasers, um operando no espectro vermelho com comprimento de onda próximo de 650nm e outro no espectro verde com comprimento de onda de 532nm, sensores de luz a 180° e 90° da amostra, sendo utilizado 3 sensores LDRs GL5528 e um BH1750.

O LDR GL5528 (SENBA OPTICAL & ELECTRONIC) é um sensor de luz analógico feito de sulfeto de cádmio (CdS) que varia sua resistência conforme a quantidade de luz incidente sobre ele, para utilizá-lo foi preciso acrescentar um resistor de abaixamento (*pull down*). As leituras feitas a 90° e 180° do feixe de incidência foram com este tipo de sensor, seguindo o mesmo padrão de montagem e utilizando as portas A0, A1 e A2.

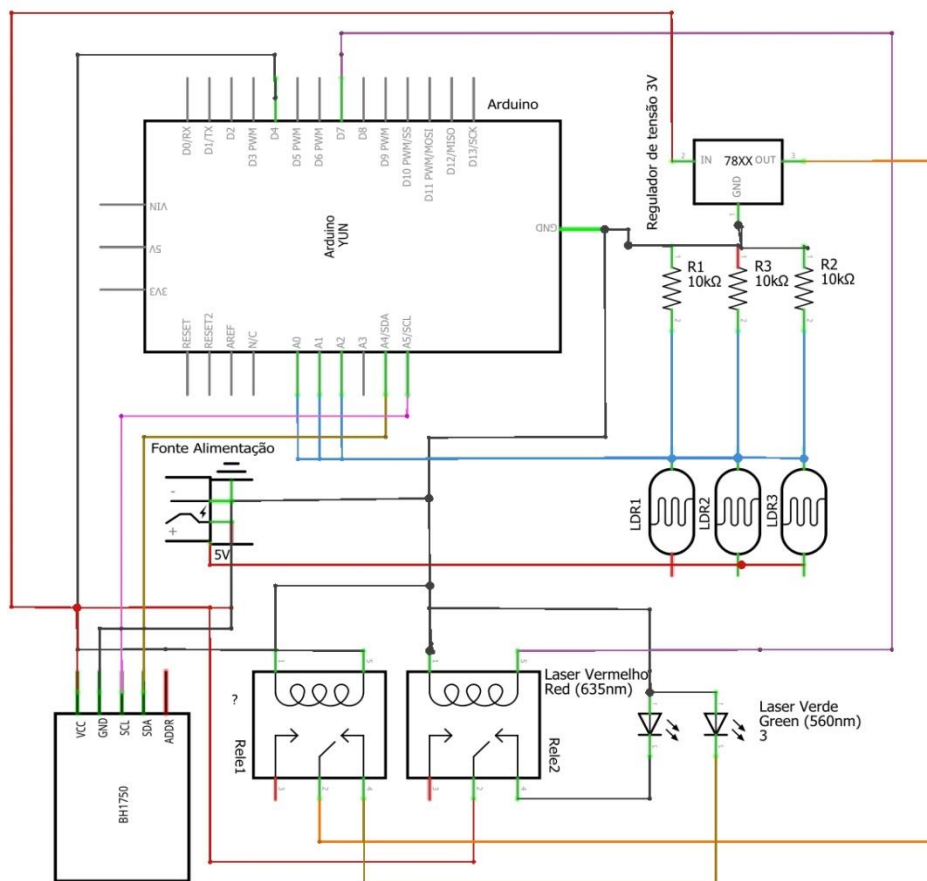
Também foi utilizado o BH1750 (ROHM SEMICONDUCTOR) um sensor de luz digital para fazer as leituras a 90° do feixe, ele possui resolução de 16bit e resposta de espectro de luz semelhante ao olho humano, para ler este sensor foi necessário conectá-lo no arduino através das portas SDA, SCL, GND e VCC e programá-lo. O mesmo foi utilizado a 90° do emissor, pois suas informações de

fabricação dizem que ele possui resolução de até 0,5 lux, ou seja, responde a pequenas mudanças de luminosidade, e seria de melhor aproveitamento para o método de nefelometria.

Utilizou-se um Arduino Yún para ler os sensores e controlar todo o circuito, o Yún é uma placa micro controladora baseada no ATmega32u4 e no Atheros AR9331, este por sua vez, suporta uma versão do Linux baseada no OpenWrt chamada Linino OS, que é uma versão do Linux para dispositivos embarcados sem interface gráfica, além disso, também possui porta USB e slot para cartão de memória, esta versão do arduino foi utilizada por sua facilidade de conexão com a internet e possibilidade de programação em Python.

Também foram necessários dois reles para selecionar qual laser seria ligado, Cartão de memória para gravar os dados, placa PCB para confecção da shield de conexão rápida, conectores, fios, fonte 5V, modulo regulador de voltagem, resistores, cubeta de vidro para passagem do fluxo de água, canos, mangueiras, conexões, reservatório e bomba d'água.

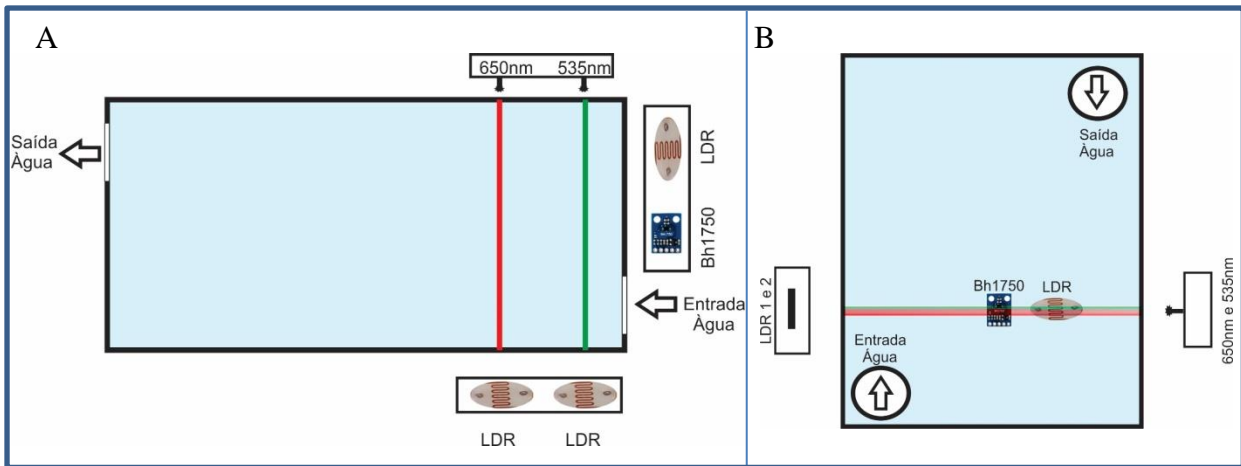
Para confecção do circuito da shield usou-se uma placa PCB de fenolite perfurada, onde foram soldados os conectores e o regulador de tensão, este foi utilizado para regular os 5V da fonte para 3V que é o requerido pelo laser verde. Todo circuito pronto (figura 1) contava com 2 saídas para controlar cada rele, 4 entradas, sendo 3 analógicas e 1 digital para leitura dos sensores.



**Figura 1.** Esquema elétrico

Para iniciar a construção do protótipo foi feito uma cubeta de vidro (figura 2) medindo 100X300X140mm e fixada nela as entradas para conexão dos canos, logo após foram conectados os canos e mangueiras na caixa e na bomba d'água, criando assim um ciclo, partindo do reservatório passando pela cubeta e retornando para o reservatório, foi necessário um filtro de nylon para evitar sólidos não suspensos.

Logo após todos os componentes foram fixados ao redor da cubeta de vidro, ficando com um caminho ótico de 10cm para os feixes a 180° do sensor e de 5cm para o sensor a 90°.

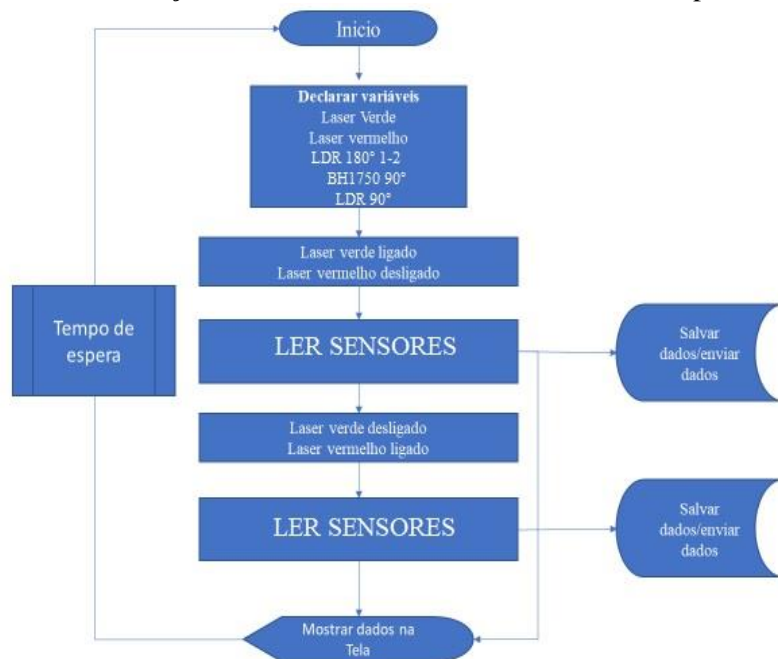


**Figura 2.** Projeto turbidímetro A: vista superior do sistema completo montado. B: vista frontal do sistema completo montado.

### LEITURA DOS DADOS

Foi feito um *script* utilizando o arduino para que as leituras dos sensores fossem obtidas: leituras dos sensores LDR e BH1750 a 90° e LDR a 180° eram obtidas primeiro com o laser verde 650nm ligado e depois com o laser verde 532nm ligado. Todas as leituras demoravam no total 7 segundos, sendo 3 segundos com cada laser ligado separadamente, este tempo evita que possíveis oscilações de luz por conta de picos de corrente chegando no laser sejam mal interpretadas pelo sistema, logo este tempo é o suficiente para estabilizar os lasers antes da leitura. Para escrever os arquivos no cartão de memória e enviar para um servidor FTP leva em torno de 1 segundo. Por fim foi estabelecido um tempo de espera de 20 segundos com todos os lasers desligados

Ao final de cada ciclo de leitura, o *script* selecionava todos os dados e solicitava a ação de salvar no cartão de memória e logo em seguida enviar para o servidor, o cartão de memória foi necessário para que existisse um local para que o arquivo contendo as informações de leitura ficassem armazenados até que fossem enviados para o servidor, sendo também um meio de segurança para que não ocorresse perda de informação das leituras de turbidez em determinado período de tempo.



**Figura 3.** Fluxograma de funcionamento do sistema de obtenção e armazenamento de dados.

## CALIBRAÇÃO

A equação de calibração do turbidímetro foi realizada utilizando leituras paralelas com o turbidímetro do laboratório de Análises Ambientais da UFMT-ICAA/CUS, modelo AP2000 (Policontrol) que trabalha com uma fonte de luz de 880nm e possui resolução de 0,01 NTU, medindo de 0,00 a 1000NTU, devidamente calibrado com soluções padrão de turbidez.

As leituras paralelas foram feita da seguinte forma: o reservatório foi preenchido com água filtrada e iniciou a circulação da amostra por meio de uma bomba peristáltica, após 05 minutos foi retirada uma amostra e feita a leitura no turbidímetro AP2000, a média de NTUs obtida através de triplicata foi salva em uma planilha eletrônica, ao mesmo tempo, os dados das leituras dos sensores estavam sendo armazenados em um cartão de memória e em um servidor; Após 05 minutos repetiu o processo.

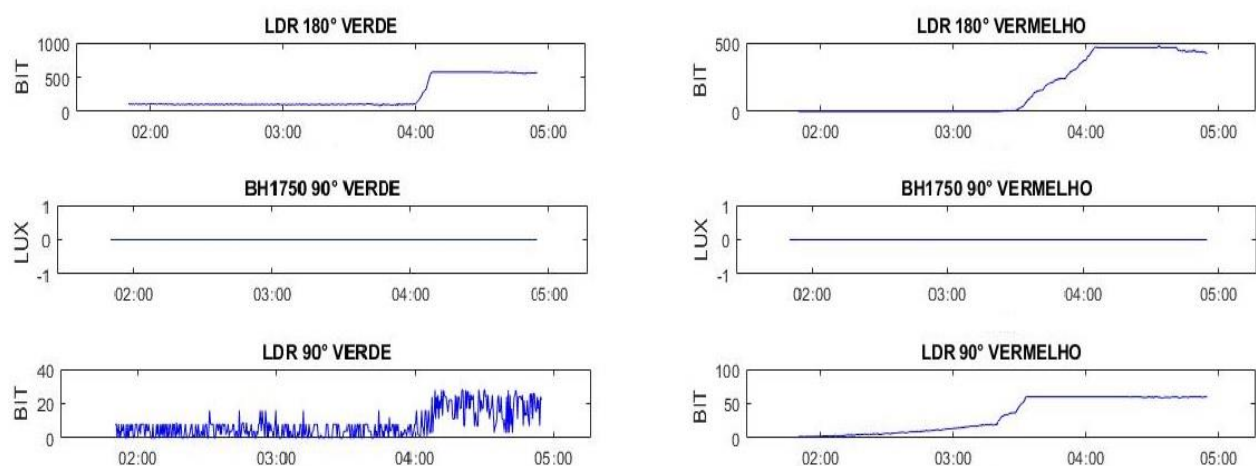
Em seguida foi diluído no reservatório 250mL de uma solução com alta concentração de sólidos, após 5 minutos, as leituras foram feitas de modo semelhante a anterior; este processo foi repetido até que o turbidímetro AP2000 atingisse sua leitura máxima de 1000 NTU. Isto posto, o processo de calibração continua inversamente, a cada 5 minutos era retirada uma amostra de água e adicionados 20mL de água filtrada; o processo foi feito até que a turbidez atingisse 0,7 NTU. tendo assim valores suficientes para criar uma curva de calibração para o Turbidímetro de fluxo contínuo.

O processo inicial de análise de dados foi realizado no MatLab (2018a) para correlacionar os dados de turbidez lida e variação de quantidade de luz obtida por cada sensor foi utilizado o método de regressão estatística para avaliar o sistema de calibração e suas incertezas associadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

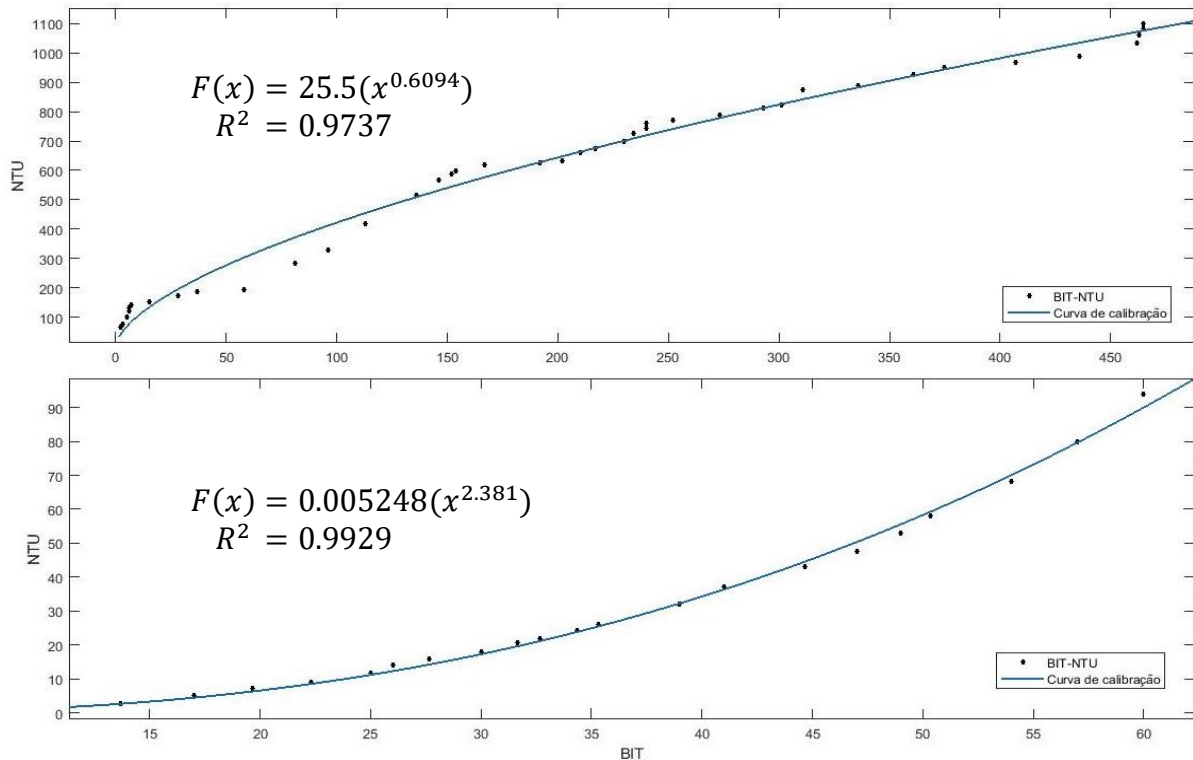
Depois de construído o sistema de leitura de turbidez de fluxo contínuo, o mesmo foi conectado a internet; na medida em que as leituras eram feitas os dados eram enviados a um servidor domestico.

O turbidímetro de fluxo contínuo demonstrou conformidades nas leituras obtidas, foi possível verificar uma relação entre turbidez e a diferença de luz recebida pelos sensores, (figura 4) Os sensores a 180° da amostra começaram a apresentar respostas acima de 100 NTU, e nestes valores o sensor LDR 90° vermelho estabilizou suas leituras perto de 60 bits, demonstrando que deve ser usado para valores inferiores a 100 NTU. Já o sensor digital BH1750 não obteve nenhum valor em nenhum dos comprimentos de onda.



**Figura 4:** Leituras dos sensores analógicos e digitais de 0 a 1000 NTU. Coluna esquerda com laser verde, coluna direita com laser vermelho medidas em relação ao aumento de turbidez ao longo do tempo de dissolução.

O sensor que melhor acompanhou a variação de turbidez foi o LDR 180° com o feixe de luz próximo ao 650nm, para valores acima de 100 NTU. Já para valores de 0 a 100 NTU foi o LDR 90° com o mesmo feixe de luz das amostras de maior turbidez.



**Figura 5.** Curva de calibração turbidímetro, gráfico superior alta turbidez, gráfico inferior baixa turbidez.

Os custos dos componentes necessários para construir o equipamento (Tabela 1), consta além dos componentes utilizados, os gastos adicionais como: solda, cola para cano, fita veda rosca dentre outros materiais. O estudo econômico comparou estes valores à um equipamento comercial que desempenham funções semelhantes; a diferença de custo entre eles, é 14 vezes maior do que o gasto com a construção feita neste trabalho.

COMPONENTES	VALOR
Arduino YÚN	R\$ 281,40
Bomba D'agua	R\$ 69,00
Caneta Laser verde	R\$ 80,00
Cartão de memória 2GB	R\$ 6,00
Conectores diversos	R\$ 20,00
Conexões para cano	R\$ 20,00
Cubeta de vidro	R\$ 50,00
LDRs	R\$ 2,00
Mangueira	R\$ 20,00
Modulo Diodo vermelho	R\$ 6,00
Modulo Relé 2 canais	R\$ 12,95
Regulador de tensão	R\$ 24,90
Sensor luz BH1750	R\$ 19,90
Custos adicionais	R\$ 20,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 632,15</b>

**Tabela 1:** Valores componentes utilizados para construção do turbidímetro de fluxo contínuo.  
**Component values used for construction of the continuous flow turbidimeter.**

## CONCLUSÕES

No sistema construído verificou-se que os sensores analógicos LDRs GL5528 demonstraram melhores resultados para este experimento; bem como o laser vermelho 650nm. Já o sensor digital BH1750 não apresentou sensibilidade às análises. Também foi possível acessar remotamente valores de turbidez lidos em tempo real através da internet.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. **Manual prático de análise de água. Brasília: Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, 2004D**
- CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th, ed. Washington, DC: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 1998. 1325 p.
- Datasheet BH1750 Light Sensor** Disponível em:  
[http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/bh1750-light-sensor/bh1750fvi-e\\_datasheet.pdf](http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/bh1750-light-sensor/bh1750fvi-e_datasheet.pdf) acessado em 13/04/2018
- Datasheet LDR GL5528 Photoresistor**: disponível em:  
<http://akizukidenshi.com/download/ds/senba/GL55%20Series%20Photoresistor.pdf> acessado em 13/04/2018
- FREITAS, Marcelo Bessa de; BRILHANTE, Ogenis Magno; ALMEIDA, LM de. **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro**: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cad Saúde Pública*, v. 17, n. 3, p. 651-60, 2001.
- GARCÍA, A.; PÉREZ, M.A.; ORTEGA, G.J.G. e DIZY, J.T. **A New Design of Low-cost Four-beam Turbidimeter by Using Optical Fibers**. *IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT*, v. 56, n. 3, 907–912, junho 2007.
- MORAIS, Inês PA; TÓTH, Ildikó V.; RANGEL, António OSS. **Turbidimetric and nephelometric flow analysis: concepts and applications**. *Spectroscopy Letters*, v. 39, n. 6, p. 547-579, 2006.
- MARTINS, Gabriel Soares et al. **Construção de um turbidímetro de baixo custo para controle de qualidade de efluentes industriais**. 2012.
- SILVA, J. L. S.; Melo, M. C.; Camilo, R. S.; Galindo, A. L; e Viana, E. C. 2014. **Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35**. XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA. 2014.
- VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.