

Universidade Federal do ABC
Especialização em Tecnologias e Sistemas da Informação

APLICAÇÃO DE MICROCONTROLADORES NA PROPOSTA DE UM
FOTÔMETRO PARA FINS DIDÁTICOS

Aluno: Daniel Augusto de Castro Spegiorin

Orientador: Profº Dr. Mario Alexandre Gazziro

Santo André - SP

2024

Daniel Augusto de Castro Spejorin

APLICAÇÃO DE MICROCONTROLADORES NA PROPOSTA DE UM
FOTÔMETRO PARA FINS DIDÁTICOS

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Tecnologias e Sistemas de Informação, da Universidade Federal do ABC, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Tecnologias e Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Dr. Mario Alexandre
Gazziro.

Santo André - SP

Resumo

O uso de plataformas envolvendo *hardwares* e *softwares* livres no desenvolvimento de projetos científicos e educacionais estão em nosso cotidiano cada vez mais presentes. O projeto Arduino é uma das plataformas utilizadas para essa finalidade, e o seu baixo custo e facilidade de uso o elegem para uma escolha adequada para o desenvolvimento tanto de pequenos projetos quanto para projetos científicos mais elaborados, se mostrando como opção ao uso de plataformas não livres. O presente trabalho faz o uso da placa Arduino Uno como o microcontrolador usado no desenvolvimento de um fotômetro de baixo custo com finalidades didáticas. O microcontrolador juntamente com o sensor de luminosidade TSL2561 são os componentes principais do dispositivo aqui apresentado que funcionará como um fotômetro de baixo custo com finalidades didáticas. O fotômetro deverá gerar dados consistentes para que possam ser transformados em transmitância e/ou absorbância, para que possa ser usado e calibrado com determinada atividade didática. A calibragem e configuração do fotômetro não estão no escopo do trabalho, pois o dispositivo aqui apresentado deve ter a maleabilidade para que possa ser adaptável e escalonada de acordo com a situação didática.

Palavras Chaves: Projeto Arduino, Fotômetro Didático, *Software* Livre.

Abstract

The use of platforms involving free hardware and software in the development of scientific and educational projects is increasingly present in our daily lives. The Arduino project is one of the platforms used for this purpose, and its low cost and ease of use make it an appropriate choice for the development of both small projects and more elaborate scientific projects, proving to be an option for using non-free platforms. . The present work uses the Arduino Uno board as the microcontroller used in the development of a low-cost photometer with didactic instructions. The microcontroller together with the TSL2561 brightness sensor are the main components of the device presented here, which function as a low-cost photometer for teaching purposes. The photometer must generate consistent data so that it can be transformed into transmittance and/or absorbance, so that it can be used and calibrated with a given teaching activity. Calibration and configuration of the photometer are not within the scope of the work, as the device presented here must be malleable so that it can be adaptable and scaled according to the teaching situation.

Key words: Arduino Project, Didactic Photometer, Free Software.

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Espectro eletromagnético..... | 11 |
| Figura 2: Placa Arduino modelo Uno..... | 14 |
| Figura 3: IDE do Arduino..... | 15 |
| Figura 4: Esquema simplificado do fluxo de dados envolvido..... | 16 |
| Figura 5: O sensor TSL 2561 - Frente e verso..... | 18 |
| Figura 6: Componentes de hardware utilizados..... | 20 |
| Figura 7: Montagem do circuito..... | 22 |
| Figura 8: Desenvolvimento do código-fonte da aplicação na IDE do Arduino..... | 22 |
| Figura 9: Protótipo do dispositivo proposto..... | 24 |
| Figura 10: Primeira saída de dados sem nenhuma amostra entre a fonte referência e o sensor..... | 26 |
| Figura 11: Saída de dados com solução arbitrária entre o detector e o sensor..... | 27 |

Lista de Tabelas.

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Especificações do sensor de luminosidade..... | 17 |
| Tabela 2: Principais características do Arduino Uno..... | 19 |
| Tabela 3: Valor médio em Reais (R\$) dos componentes utilizados..... | 28 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Introdução..... | 07 |
| 1.1 | Justificativa..... | 08 |
| 1.2 | Objetivos..... | 09 |
| 2 | Revisão Bibliográfica..... | 10 |
| 2.1 | Interação da Radiação Eletromagnética com a Matéria..... | 10 |
| 2.2 | A lei de Beer-Lambert..... | 11 |
| 2.3 | Sensores..... | 13 |
| 2.4 | O Projeto Arduino..... | 13 |
| 3 | Materiais e Métodos..... | 15 |
| 3.1 | O Sensor de Luminosidade..... | 17 |
| 3.2 | O Microcontrolador..... | 18 |
| 3.3 | Materiais Adicionais..... | 19 |
| 4 | Resultados..... | 21 |
| 4.1 | Análise da Configuração do Hardware..... | 23 |
| 4.2 | Análise e Resultado do Software Proposto..... | 24 |
| 5 | Conclusão..... | 28 |
| 5.1 | Trabalhos Futuros..... | 30 |
| | Bibliografia..... | 31 |

1. Introdução

Estudar os materiais a fim de compreendê-los é algo que há muitos séculos vem sendo feito, sendo que uma das maneiras de realizar o presente estudo é com a radiação eletromagnética. Existem diferentes formas de interação da radiação eletromagnética com a matéria como, por exemplo, reflexão, espalhamento, fosforescência ou fluorescência, absorção, reações fotoquímicas, entre outras. Uma das áreas de estudo muito usadas, consiste em verificar como são as absorções características de um dado material conforme uma dada radiação incidente. Essa análise permite obter informações sobre a composição química de uma amostra, por exemplo [1].

A possibilidade de estudar, quantificar, identificar e monitorar a intensidade e o comprimento de onda de um feixe de radiação eletromagnético incidente é de grande interesse em várias áreas do conhecimento. Dentre os estudos que envolvem diretamente o monitoramento da distribuição espectral de um feixe de radiação eletromagnético, pode-se citar como exemplos: a espectroscopia óptica aplicada nas suas diversas especificidades, a fotometria espectral multicanal no sensoriamento remoto da atmosfera, entre outros [2].

Assim, como nas diversas áreas, também na educação básica pode se beneficiar do presente estudo que aqui será descrito. Uma das grandes dificuldades no ensino é fazer a ponte entre conhecimento teórico e suas aplicações práticas. Os conceitos quando vistos somente textualmente, não são plenamente compreendidos pelos alunos. Desse modo, a realização de atividades experimentais é extremamente importante no processo de ensino-aprendizagem, contribuindo, significativamente, para um melhor aproveitamento dos conhecimentos socializados em sala de aula e, conseqüentemente, uma compreensão mais abrangente da ciência [3].

Souza et al. [4] apresentam como proposta para inserir a aquisição automática de dados em aulas demonstrativas e experimentos de física o microcontrolador Arduino, com a finalidade de tornar essas atividades mais elaboradas e significativas para aprendizagem, promovendo também como atividade interdisciplinar com introdução a programação. Essa plataforma permite a possibilidade de automatizar a coleta de dados com baixo custo, pois tanto hardware e software são de licença aberta

e gratuita. Além do microcontrolador, componentes como sensores, e outros componentes de circuitos elétricos são de baixo custo, e podem ser utilizados sistematicamente em inúmeros projetos, de acordo com a prototipagem de cada um deles. O presente trabalho irá abordar, descrever e discutir alguns componentes e métodos para iniciar trabalhos nesses projetos, com a finalidade de mostrar a simplicidade do uso do Arduino.

Com isso, a ascensão da tecnologia no cenário atual pede que os professores acrescentem novos estímulos e metodologias a fim de acompanhar o desenvolvimento da ciência e não estarem engessados em modelos antigos de ensino. Novas ideias para despertar a curiosidade dos alunos são importantes de forma a promover metodologias ativas e o interesse nos conteúdos ministrados [5].

Para aprimorar a solução do que foi descrito nas premissas introdutórias, tem como estudo norteador uma análise de requisitos para implementar um sistema automatizado para adquirir, transmitir e armazenar os dados gerados. Tais funcionalidades são requisitadas em atividades de ensino, pois permite obter dados, inclusive remotamente para posterior armazenamento e análise.

Com a evolução das tecnologias computacionais, a necessidade de explorar novas características de monitorização e controle no desenvolvimento de soluções é altamente desejável, aproveitando soluções atuais como computação ubíqua, IoT, entre outras. Estas características farão parte de uma nova geração em sistemas de aquisição de dados nos laboratórios em diversas áreas do conhecimento. Sistemas deste tipo podem ser desenvolvidos de maneira simples usando placas de automação como microcontroladores e tecnologias apropriadas como por exemplo o *Labview*, *Processing*, entre outros.

1.1 Justificativa

A análise do espectro eletromagnético, envolve o monitoramento da distribuição espectral de determinado feixe e sua distribuição nos variados comprimentos de onda e frequência e sua intensidade, através de técnicas como a espectroscopia. Esta análise é de interesse de diversas áreas do conhecimento, como na astronomia, ciências físicas, químicas e biológicas, geociências e em particular nas engenharias e aplicações tecnológicas. Para isso, é proposto o estudo no desenvolvimento de uma

base automatizada para aquisição de dados proveniente de sensores ópticos acoplados a um microcontrolador, sendo a análise de requisitos baseada a partir do estudo dos elementos fotodetectores adequados ao projeto, assim como a proposição futura de uma arquitetura da base de dados.

Pelos motivos apontados até aqui, dominar o conhecimento e a tecnologia de desenvolvimento na construção, aferição, validação e automação de armazenamento e aquisição de dados provenientes do dispositivo, contribuirá com a difusão científica em um ambiente de ensino.

Assim, o presente trabalho tem como objeto de estudo a proposição de um sistema para coletar e processar dados obtidos de um sensor que compõe um detector óptico espectral. O objetivo é que tal composição se comporte como uma solução válida para o sistema de baixo consumo de energia e baixo custo. Para cumprir a meta de baixo custo, é essencial pensar em soluções de *hardware* e *software* livre.

1.2 Objetivos

O presente trabalho foca no estudo e desenvolvimento de um sistema para automatizar a aquisição e tratamento de dados em algum estudo já conhecido com a finalidade de gerar uma base para persistência de dados que irá contribuir para o desenvolvimento de soluções autônomas para o monitoramento do estudo de interesse, com foco em agregar cada vez mais informação e tecnologia no ambiente didático-pedagógico especialmente na área de ciências da natureza, promovendo uma maior contextualização do ensino, tornando o ambiente de aprendizagem mais atrativo ao estudante. Nesse contexto, estão descritos abaixo, alguns objetivos que direcionam o trabalho.

a) O objetivo principal é o estudo e desenvolvimento de um sistema de aquisição e tratamento de dados dedicado ao detector automatizado, formado por elementos fotodetectores e uma base para persistência de dados que irá contribuir para o desenvolvimento de soluções autônomas para o monitoramento da radiação eletromagnética de interesse, aplicadas para fins didáticos.

b) Estudar e avaliar o software e tecnologias envolvidas.

c) Propor uma interface adequada para que possa haver conexão do detector espectral, microcontrolador e base de dados, com a finalidade de facilitar a exportação dos dados gerados para as arquiteturas e sistemas operacionais mais usados.

d) Iniciar estudos interdisciplinares em Computação e Física, especialmente na parte de introdução à computação.

2. Revisão Bibliográfica

Existem diversas maneiras de se estudar materiais, sendo uma delas interagir a radiação eletromagnética com a amostra do material, gerando reações absorção, espalhamento, reflexão, fluorescência, entre outras. Um procedimento trivial é verificar a absorção característica de certo material com determinada radiação incidente, permitindo determinar a composição química da amostra.

2.1 Interação da Radiação Eletromagnética com a Matéria

A espectrofotometria e os métodos espectrofotométricos amplamente empregados nas diversas áreas do conhecimento como química analítica, física, engenharias, entre outras, referem-se às medidas das interações entre a radiação eletromagnética e a matéria, com o objetivo de identificar um componente presente em determinada amostra, dando origem a um procedimento qualitativo, ou determinar a quantidade deste analito, em um procedimento quantitativo. Ao conjunto de radiações eletromagnéticas se denomina espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético pode ser dividido em várias regiões de acordo com características da radiação, abrangendo um intervalo muito amplo de comprimentos de ondas e de frequências, conforme ilustrado na Figura 1. Esse intervalo é empregado para estabelecer as divisões dos métodos espectroscópicos [3].

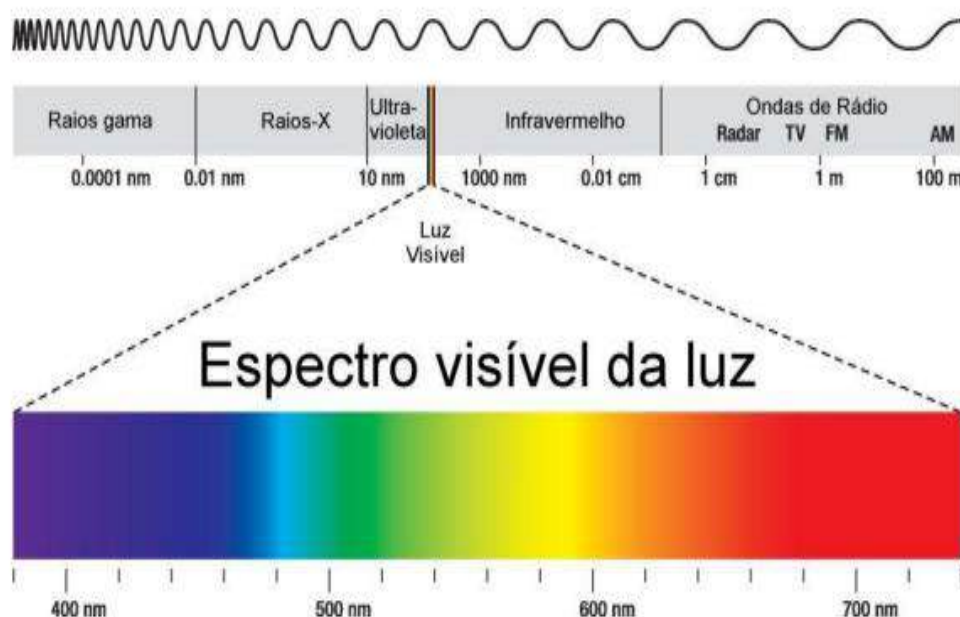


Figura 1: Espectro eletromagnético. Fonte: Ref. [5].

As determinações espectrofotométricas quantitativas e qualitativas de matéria normalmente se baseiam na absorção da radiação ultravioleta, do visível ou do infravermelho por uma solução [7]. Quando a radiação eletromagnética atinge uma amostra, parte de sua energia pode ser absorvida, promovendo a excitação de espécies químicas [6]. A absorção da radiação depende da estrutura das espécies atômicas, ou moleculares, envolvidas, sendo que, quando um feixe de radiação eletromagnética atravessa uma amostra contendo um analito, algumas frequências dessa radiação podem ser seletivamente retidas pelo material, de modo que apenas um feixe da radiação, de menor intensidade que o feixe incidente é transmitido pela amostra [7].

2.2 A lei de Beer-Lambert

A lei de Beer-Lambert-Bouguer relaciona a quantidade de radiação eletromagnético de determinado comprimento de onda que é atenuada devido a características da concentração das moléculas absorventes e do caminho óptico sobre o qual ocorre a absorção. Conforme essa radiação atravessa o recipiente contendo a amostra, uma diminuição da intensidade é observada na proporção em

que ela é excitada. Quanto maior for o caminho óptico, maior será a atenuação da radiação [7].

Quando a radiação atravessa determinado material, pode-se realizar a razão entre a intensidade do sinal (I) proveniente da amostra sobre a intensidade do sinal referência (I_0), obtendo-se a razão entre esses dois sinais, que é a chamada de transmitância T , representando a quantidade de luz que consegue passar por determinada espessura de um material sem ser absorvida e pode ser escrita pela equação (1).

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Também pode ser obtida uma outra medida, a absorbância A , que representa o quanto de energia luminosa é absorvida por determinada amostra de material. A equação (2) descreve essa medida.

$$A = -\log T = -\log \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

As substâncias possuem modos de interação com a luz de maneira diferente, e através do estudo desta interação, pode-se realizar a identificação de importantes características de uma solução, desde absorbância (medida da luz absorvida), transmitância (medida da luz transmitida) até a própria concentração da solução em questão [8].

Considerando-se o caminho óptico pode-se obter a relação entre absorbância A e a concentração de uma determinada amostra pela equação (4).

$$A = \epsilon \cdot l \cdot c \quad (3)$$

Na equação (3), c representa a concentração do soluto na solução analisada, l representa o caminho óptico do feixe dentro da amostra e ϵ representa a absorvidade molar do material que está sendo analisado. Os resultados acima são teóricos, podendo a transmitância se calculada pela equação (1) e a absorbância pela equação (2) e (3).

2.3 Sensores

Sensores são dispositivos que sofrem alterações em suas propriedades quando submetidos a determinado estímulo físico, produzindo um sinal específico [9]. Para uma boa eficiência de um sensor, é desejável que ele possa apresentar características como estabilidade, sensibilidade, precisão e velocidade de resposta [10]. Assim, os sensores são empregados para uma medida específica, sendo que cada tipo de sensor responderá a um determinado estímulo externo, transformando esse estímulo em algum sinal mensurável. Também nesse contexto, grande parte dos sensores retornam sinais elétricos de corrente ou tensão, que serão lidos por um dispositivo que fazem a conversão do sinal proveniente do sensor, tornando-o interpretável por um software ou sistema, que será um dos agentes do estudo no levantamento dos requisitos do sistema proposto [11].

Na análise do espectro eletromagnético, considerando-se o comprimento de onda óptico, pode-se considerar a divisão em três faixas: ultravioleta (10 a 390 nanômetro), visível (390 a 760 nanômetro) e infravermelho próximo (760 nanômetros a 1 micrômetro) [12]. A luz visível corresponde a uma pequena parte do espectro eletromagnético, sendo a única detectável pelo olho humano [13]. Assim, o sensor a ser utilizado no presente trabalho deverá ser baseado nessa faixa do espectro.

2.4 O Projeto Arduino

Nascido nas salas de aula do *Interactive Design Institute* em Ivrea, na Itália, o Arduino surgiu como um projeto aberto de uma plataforma de prototipagem eletrônica com o intuito de permitir que qualquer pessoa fosse capaz de construir o que desejasse. Assim, essa plataforma apresenta como características, ser um dispositivo de fácil montagem e com uma linguagem simples de se aprender. Devido essa possibilidade de acesso ao mundo da eletrônica e de ser um projeto aberto no qual qualquer um poderia contribuir à sua maneira, o Arduino se tornou uma valiosa plataforma de *hardware*, contando com uma vasta comunidade ao redor do mundo e diversos projetos profissionais com sua utilização [14]. Existem diversos modelos de

placas, como Duemilanove, Uno, Due, Leonardo, Mega, Nano, e outras variantes. Na Figura 2 está o modelo Uno.

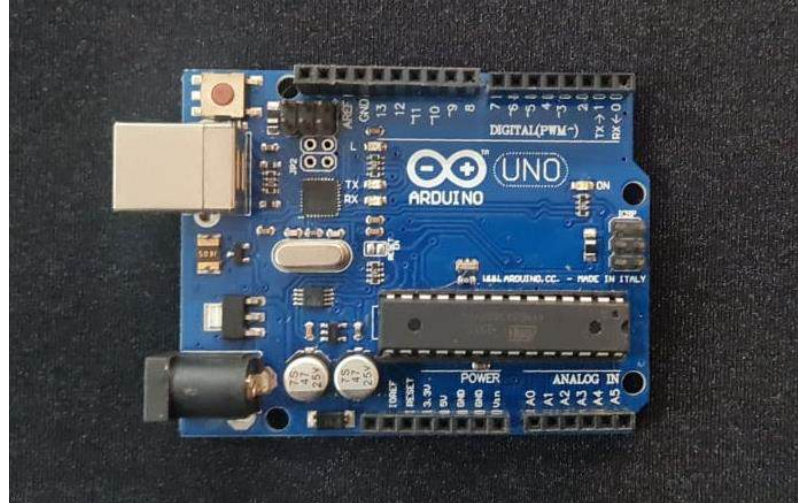


Figura 2: Placa Arduino modelo Uno.

Assim, o uso dessa plataforma se torna a escolha adequada para o presente trabalho, pois sua natureza *open-source* possibilita uma vasta quantidade de trabalho, com comunidade ativa, que permite reuso de projetos já constituídos, o que facilita a criação de novos projetos. A plataforma pode interagir com o ambiente por meio de *hardware* e *software*, pois permite a conexão com dispositivos que capturam dados do ambiente ou que podem ser controlados [14].

A programação do Arduino é feita utilizando o IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino, no qual o usuário escreve o código na linguagem que o Arduino compreende que normalmente é baseada na linguagem C++. Na Figura 3 temos a representação da IDE do Arduino.

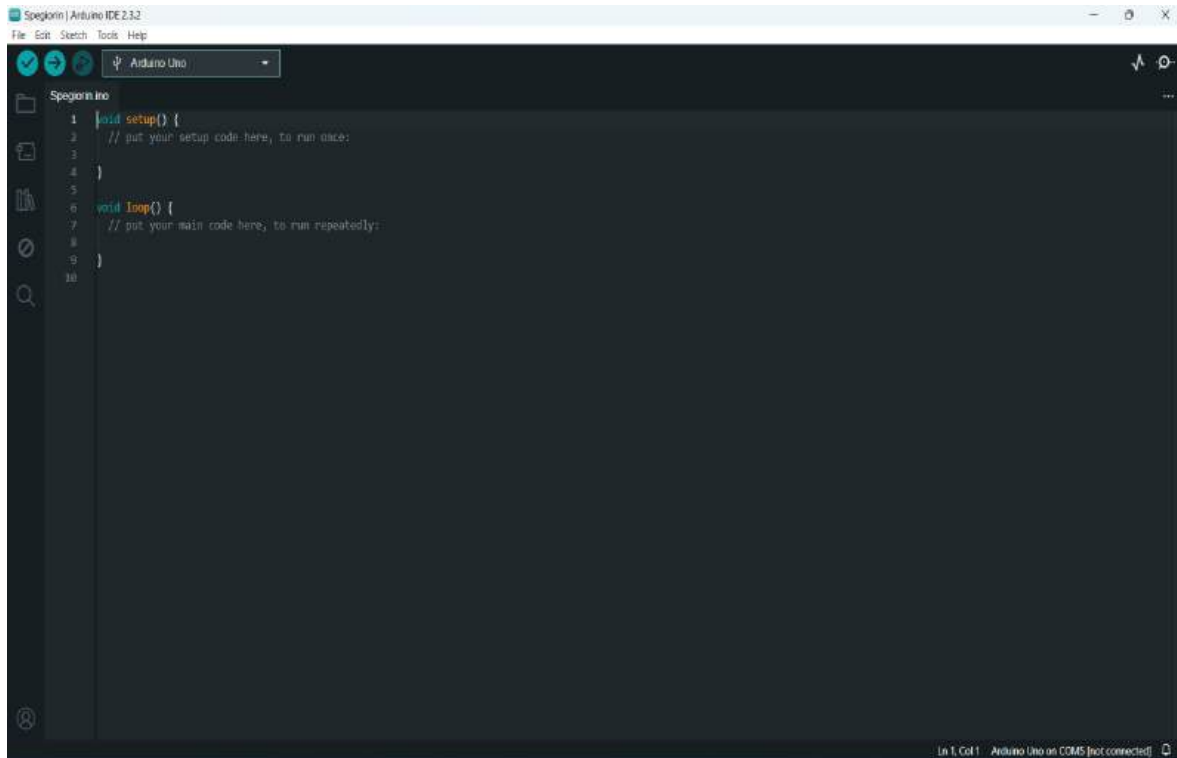


Figura 3: IDE do Arduino

3. Materiais e Métodos

O presente trabalho tem como proposta o desenvolvimento de um sistema para aquisição e tratamento de dados provenientes de um detector óptico, que após os devidos tratamentos possam ser utilizados como medidas fotométricas para finalidades didáticas, sendo que os componentes utilizados na construção do sistema de aquisição de dados do fotômetro foram escolhidos levando em consideração o custo de aquisição e a disponibilidade desses componentes.

Inicialmente, realizou-se a revisão de literatura sobre espectro eletromagnético e lei de Beer-Lambert, espectrofotometria e fotômetros, sensor de luminosidade, microcontrolador, ambiente de desenvolvimento integrado e codificação. Posteriormente, o trabalho passou a focar nos aspectos envolvidos no desenvolvimento de um protótipo para validação.

- Um sensor de luminosidade que transformará a radiação eletromagnética de comprimento visível em um sinal elétrico;
- Um microcontrolador para automatizar a aquisição de dados. Essa automação envolverá desde a conversão analógico digital do sinal até a

disponibilidade de dados que possam ser usados como medidas fotométricas.

- Uma fonte de luz caracterizada, e um conjunto óptico para interagir a luz com a amostra;
- Um ambiente de programação para o microcontrolador;
- Uma plataforma ou aplicação para amostragem dos dados obtidos;

Assim, a análise de requisitos norteadora do escopo no presente trabalho é voltada ao desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados dedicado a um detector óptico, automatizando a coleta de dados e o envio dos sinais para uma plataforma de análise, com o intuito de disponibilizar os sinais coletados para calibração monitoramento, análise e exibição dos dados de interesse. Um esquema simplificado pode ser observado na Figura 4.



Figura 4: Esquema simplificado do fluxo de dados envolvido.

3.1 O Sensor de Luminosidade

Na proposta aqui apresentada o sensor de luminosidade a ser utilizado é o TSL2561, pois ele é capaz de detectar a intensidade de luz com precisão e agilidade na comunicação com o microcontrolador. O Chip transforma intensidade de luz em uma saída de sinal digital que pode ser lido por qualquer microcontrolador que trabalha com comunicação do tipo I2C, como um Arduino, por exemplo. Além das características iniciais, ele permite medir separadamente a luz infravermelha e a luz visível ao olho humano, ou seja, dois tipos de radiação que compõe o espectro eletromagnético. As especificações do sensor foram obtidas a partir da folha de dados do fabricante e estão apresentadas abaixo na Tabela 1.

Tabela 1: Especificações do sensor de luminosidade.

| | |
|-------------------------|------------------|
| Chip | TSL2561 |
| Tensão de operação | 3.3 V - 5 V |
| Faixa de medição | 0.1 - 40.000 Lux |
| Interface | I2C |
| Temperatura de operação | -30 °C a 80 °C |
| Corrente utilizada | 0,24 à 0,6mA |
| Dimensões | 19 mm x 16 mm |

Este sensor pode ser usado em muitas situações pois permite cálculos exatos de lux (corresponde à incidência perpendicular de um lúmen em superfície de 1 metro quadrado) que pode ser configurado para detectar faixas de luz de 0,1 a 40.000 lux em tempo real. Ele contém dois diodos, sendo um que atua na região do infravermelho e o outro na região do visível do espectro eletromagnético. O TSL 2561 utilizado no projeto pode ser observado frente e verso na Figura 5.

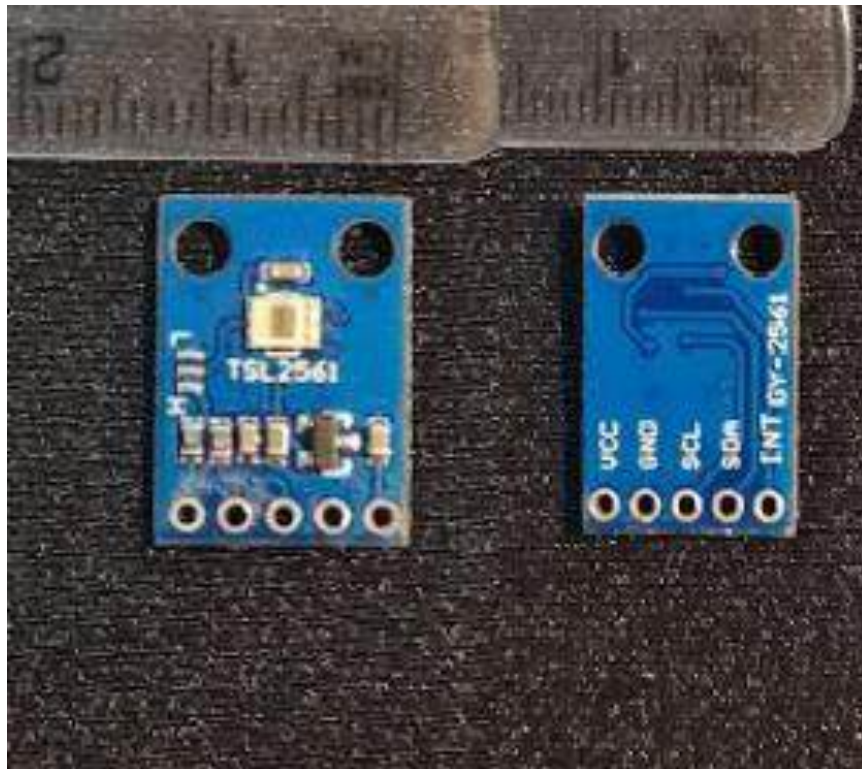


Figura 5: O sensor TSL 2561 - Frente e verso.
Fonte: O autor.

3.2 O Microcontrolador

O microcontrolador utilizado no desenvolvimento descrito na presente metodologia é o Arduino Uno, pois ele é considerado um modelo de prototipagem indicado para iniciantes na eletrônica e programação, correspondendo ao escopo do presente trabalho. Outro fator que motiva a sua utilização dentro da proposta para o ensino é o fato de que muitas *Shields* foram desenvolvidas com o intuito de serem aplicadas diretamente nesse tipo de placa, aumentando a possibilidade de aplicações e projetos. A simplicidade de manuseio, o baixo custo e uma ampla comunidade ativa no desenvolvimento de projetos, justificam o uso dessa placa. As principais características do Arduino Uno são apresentadas abaixo na Tabela 2, obtidas através da folha de dados do fabricante.

Tabela 2: Principais características do Arduino Uno.

| | |
|---------------------|------------|
| Microcontrolador | ATmega328P |
| Tensão de Operação | 5V |
| Tensão de Entrada | 7-12V |
| Saídas Digitais | 14 |
| Saídas Analógicas | 6 |
| Memória Flash | 32 Kb |
| Velocidade de Clock | 16 MHz |

Sobre as especificações da Tabela 2, algumas considerações sobre os dados informados quanto a tensão de operação, sendo a alimentação do Arduino Uno pode ser feita com a ajuda de um cabo USB ou de uma fonte de alimentação externa. Quanto as saídas, o Arduino Uno possui 14 pinos que podem ser usados como entrada ou saída a depender da necessidade do programador. Com a ajuda de funções como `pinMode()`, `digitalWrite()` e `Digital Read()` é possível definir como os pinos serão utilizados.

3.3 Materiais Adicionais

Os dois principais itens de *hardware* (microcontrolador e sensor) foram descritos anteriormente, mas de acordo com a análise dos requisitos, os materiais abaixo devem ser considerados obrigatórios na montagem do circuito e posteriormente o sistema:

- Protoboard: placa que permite a montagem de circuitos temporários sem a necessidade de soldagem. Item indispensável para os testes de circuito.
- LED (*Light Emitting Diode*) que servirá como fonte de luz para interagir com a amostra e com o sensor. O LED foi escolhido pois possui características bem definidas como comprimento de onda e unidade de medida da luz emitida.

- Cabos e jumpers para as conexões entre microcontrolador sensor, fonte de luz de demais conexões.
- Um resistor de $R=220\ \Omega$ para limitar a corrente no LED.
- Ambiente de desenvolvimento do software e uma interface para visualização dos dados.

Os componentes de hardware descritos acima devem ser montados em um estojo ou caixa com isolação da luz ambiente para reduzir o máximo interferências na geração do sinal. Também deve ser utilizado um computador com a IDE do Arduino instalada para o desenvolvimento e instalação do software na placa. Os componentes de hardware listados acima exceto o computador podem ser vistos na Figura 6.

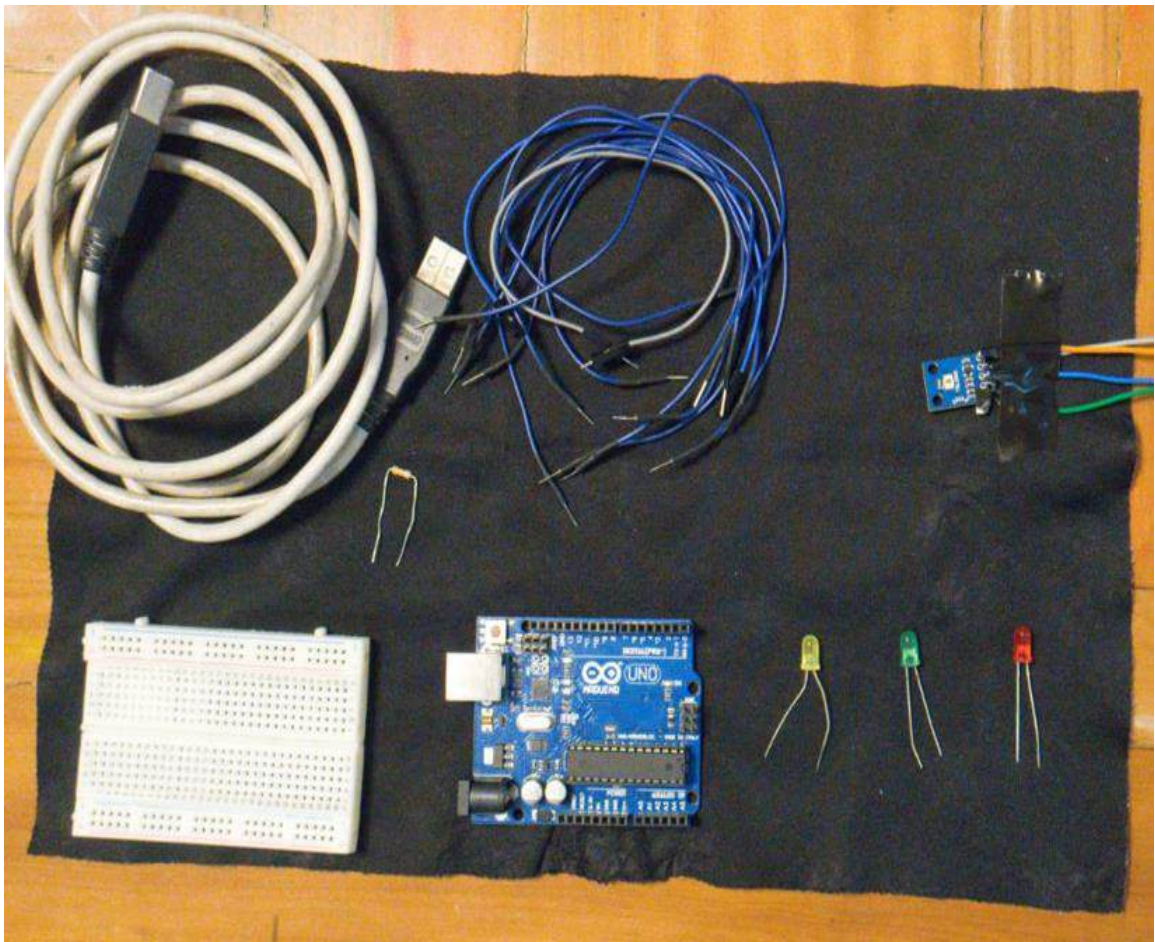


Figura 6: Componentes de hardware utilizados.

4. Resultados

Após a construção do protótipo do sistema, espera-se inicialmente que toda parte de *software* e de *hardware* seja de baixo custo, que seja um projeto multidisciplinar, envolvendo conceitos de ciências físicas e químicas juntamente com tecnologia da informação, que corresponderá aos requisitos envolvidos na premissa da justificativa.

Na parte funcional, é esperado a geração de dados que possam ser trabalhados de acordo com a calibragem que se deseja obter com o conjunto óptico adequado a cada situação, ou seja, os dados gerados devem ser coerentes para serem convertidos em medidas de absorbância e/ou transmitância, sendo que a calibragem e a proposta da construção do detector óptico com porta amostra não estão no escopo desse trabalho.

No escopo da presente etapa dos resultados esperados, estão descritos o acoplamento do sensor com o microcontrolador, o desenvolvimento do software para o microcontrolador fazer a leitura do sensor, automatizando a obtenção dos dados, sendo esses dados analisados para que possam ser transformados em medidas fotométricas, e a interface para apresentação dos resultados.

O ponto de início para a análise dos requisitos foram os dados obtidos da folha de dados do sensor TSL256 e do Arduino Uno, que nortearam a montagem do circuito. Após diversos testes e tentativas chegou-se a montagem final que está descrito na Figura 7.

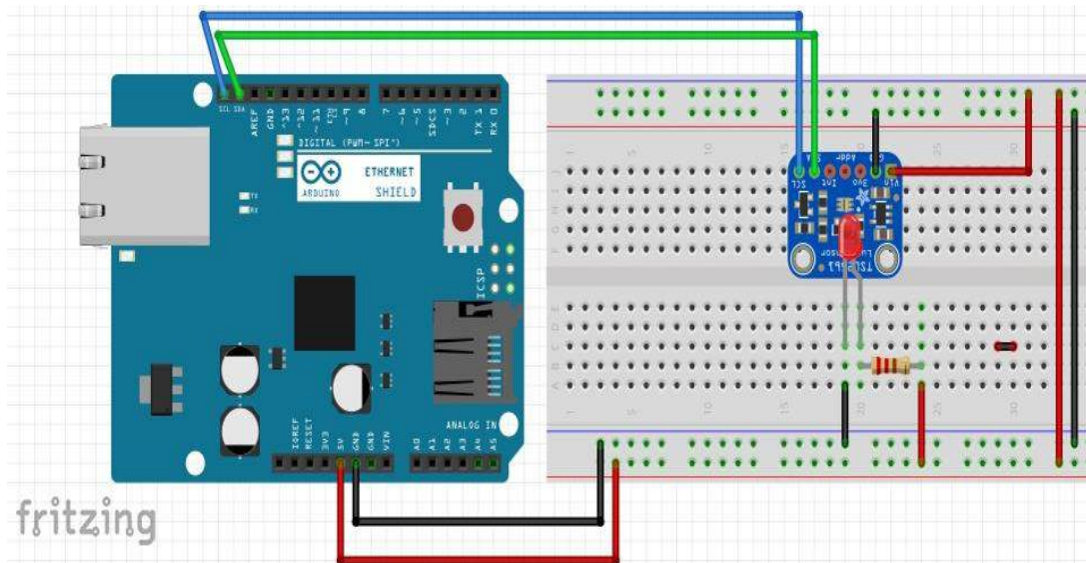


Figura 7: Montagem do circuito.

O código fonte foi desenvolvido na IDE do Arduino e as saídas foram geradas monitor serial, que é uma ferramenta presente na IDE do Arduino em que é possível acompanhar qualquer impressão ou transferência de dados. A Figura 8 mostra o desenvolvimento do código fonte na IDE do Arduino.

```

Sketch_com_aba_transmit | Arduino IDE 2.12.2
File Edit Sketch Tools Help
Arduino Uno
Sketch_com_aba_transmit.ino
1 //Bibliotecas utilizadas
2 #include <Wire.h>
3 #include <Adafruit_Sensor.h>
4 #include <Adafruit_TSL2561_U.h>
5 #include <math.h>
6 #define Intensidade_da_fonte 100
7
8 Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT, 11511);
9
10 void setup(void) {
11   Serial.begin(9600);
12   pinMode(8, OUTPUT);
13   // Testa sensor
14   if (!tsl.begin()) {
15     Serial.println("Erro ao iniciar o sensor TSL2561");
16     while (1)
17       ;
18   }
19   // Definição do ganho e tempo de integração
20   tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS); // Determina o tempo de integração
21   tsl.enableAutoRange(true); // Determina o ganho
22   displaySensorDetails();
23 }
24
25 void loop(void) {
26   digitalWrite(13, HIGH); //emite sinal para emissão da fonte de luz usada no dispositivo
27
28   //Configura o valor da fonte de luz em luz
  
```

Output - Serial Monitor

Sketch uses 9502 bytes (29%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 729 bytes (35%) of dynamic memory, leaving 1319 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

Downloading index package_esp8266com_index.json

Ln 25, Col 34 Arduino Uno on COM6 [not connected]

Figura 8: Desenvolvimento do código-fonte da aplicação na IDE do Arduino.

4.1 Análise da Configuração do Hardware

Para configurar o sensor TSL2561 com o microcontrolador foi observado principalmente a comunicação que geralmente utiliza a porta I2C para se comunicar com o Arduino. Com isso foi conectado os pinos SDA e SCL do sensor aos pinos correspondentes no Arduino Uno. Após realizados as conexões de comunicação, foram ligados os pinos de alimentação (VCC e GND).

A leitura dos valores dos registros do sensor TSL2561 possui dois canais de leitura: um para luz visível e infravermelha, e outro apenas para luz infravermelha.

Para calcular a intensidade da radiação eletromagnética na região do visível pelo sensor, é usado a leitura do canal de luz visível. A intensidade da luz pode então ser obtida somando os valores lidos dos dois canais, sendo apresentada na unidade de medida lux.

O sensor TSL2561 converte a intensidade de luz incidente em uma saída digital, e para chegar a resultados consistentes, é essencial realizar a calibração do sensor em relação a dois parâmetros que são: Ganho e Tempo de Integração. Assim os ajustes desses dois parâmetros devem ser feitos levando-se em conta o ambiente que será empregado juntamente com as características da fonte de luz que será usada para interagir com a amostra e o sensor. Após feito esses ajustes, pode-se opcionalmente usar um luxímetro de laboratório para ajustar os resultados para a referência. No escopo do presente trabalho contempla somente o ajuste do ganho e tempo de integração que será tratado no desenvolvimento do software.

Na montagem do dispositivo, através do resultado obtido da intensidade da luz do LED utilizado em cada situação dentro da caixa, juntamente com as informações da documentação de uma das bibliotecas utilizadas no *software*, foram ajustados os parâmetros descritos anteriormente com os valores: Tempo de integração 13MS e ganho automático variando de 1X a 16X. O protótipo montado pode ser observado na Figura 9.

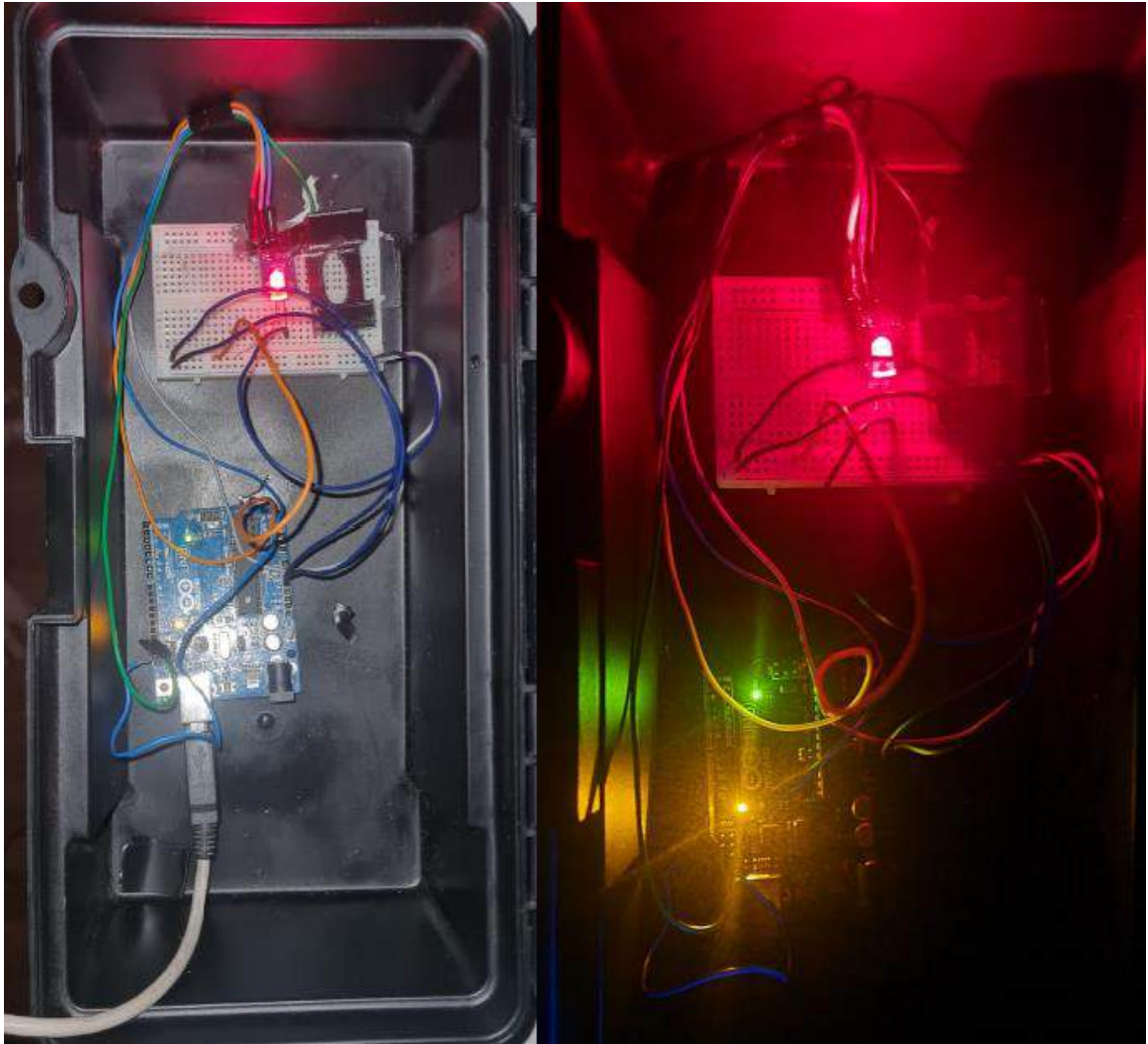


Figura 9: Protótipo do dispositivo proposto.

4.2 Análise e Resultado do Software Proposto

Para validar o protótipo dentro do escopo do presente trabalho, o *software* desenvolvido envolve analisar a coerência dos dados gerados, levando-se em consideração a calibração entre as características da fonte de luz e os parâmetros de ganho e integração do tempo. Não faz parte do escopo do trabalho a proposta do detector óptico apropriado, pois a configuração do detector óptico depende do que se pretende medir. Portanto a análise dos requisitos de *software* contempla a configuração e calibração entre o sensor e microcontrolador, sendo que esse conjunto consiga gerar dados independente do detector óptico acoplado sobre o sensor.

O código fonte desenvolvido está apresentado no Anexo 1. O código desenvolvido usa a biblioteca unificada de sensores Adafruit (Adafruit Sensor), que fornece uma saída comum para dados do sensor e funções auxiliares, que foram adaptadas para o presente trabalho. Para o uso da referida biblioteca, deve-se atribuir um ID exclusivo para o sensor para identificar este específico sensor em qualquer registro de dados. Após ler a documentação da biblioteca, para atribuir o ID exclusivo, basta fornecer um valor apropriado no construtor descrito no código. Para o valor inicial foi usado 51513.

Para configurar o ganho no código fonte, pode-se ativar o ganho automático ou usar os valores manuais de ganho 1X, onde não há ganho até o ganho de 16X. Quando se usa o ganho 1X (sem ganho), é usado para uma fonte de luz forte para evitar a saturação do sensor. Para o ganho máximo 16X tem seu uso apropriado para uma fonte com pouca luz para aumentar a sensibilidade. Para a saída de dados que aqui será apresentada, será usado o ganho automático no código, pois fontes de luz diferentes foram testadas.

Já para a integração de tempo, escolhendo-se um tempo mais rápido diminui a resolução, enquanto que a escolha de um tempo médio ou maior aumenta a resolução. Pela documentação da biblioteca um tempo de 402 ms é usado para dados em 16 bits.

A Figura 10 mostra uma saída de dados típica do ambiente devidamente ajustado para o presente trabalho, que foi escolhido os fatores: Ganho automático, integração de tempo de 13 ms e fonte de luz de 101 lux, com nenhuma amostra entre a fonte de luz referência e o sensor para verificar a consistência dos dados.

```
Sensor: TSL2561
Versão do Driver: 1
Valor Máximo de Leitura: 17000.00 lux
Valor Mínimo de Leitura: 1.00 lux
Resolução: 1.00 lux
*****

Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 101.00 lux
transmitância: 1.00
Absorbância: 0.00
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 101.00 lux
transmitância: 1.00
Absorbância: 0.00
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 101.00 lux
transmitância: 1.00
Absorbância: 0.00
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 101.00 lux
transmitância: 1.00
Absorbância: 0.00
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 101.00 lux
transmitância: 1.00
Absorbância: 0.00
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 101.00 lux
transmitância: 1.00
Absorbância: 0.00

Ln 6, Col 33 Arduino Uno on COM3
```

Figura 10: Primeira saída de dados sem nenhuma amostra entre a fonte referência e o sensor.

Após verificar consistência na saída de dados observado na etapa sem nenhuma solução entre a fonte de luz de o sensor, pois para ser observada a consistência a transmitância deve ser 1 e a absorbância ser 0, como demonstrado, foi colocado uma solução arbitrária entre a fonte de luz e o sensor formando uma gota de aproximadamente 5mm sobre uma lâmina de microscópio escolhida arbitrariamente, que também foi utilizada na etapa anterior. Os resultados obtidos estão demonstrados na Figura 11. Tanto na etapa anterior como nessa foi utilizado como padrão o tempo de 3 segundos entre cada uma das medidas apresentadas na listagem. As saídas de dados aqui mostradas foram apresentadas no monitor serial, que é a saída padrão da IDE do Arduino, mas podem ser obtidas por outras aplicações como planilhas, base de dados entre outros, bastando apenas usar a biblioteca adequada.

```

Sensor: TSL2561
Versão do Driver: 1
Valor Máximo da Leitura: 17000.00 lux
Valor Mínimo da Leitura: 1.00 lux
Resolução: 1.00 lux
*****

Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 83.00 lux
transmitância: 0.82
Absorbância: -0.09
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 82.00 lux
transmitância: 0.81
Absorbância: -0.09
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 83.00 lux
transmitância: 0.82
Absorbância: -0.09
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 83.00 lux
transmitância: 0.82
Absorbância: -0.09
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 83.00 lux
transmitância: 0.82
Absorbância: -0.09
Luz referência: 101 lux
Luz lida no sensor: 83.00 lux
transmitância: 0.82
Absorbância: -0.09

```

Ln 6, Col 33 Arduino Uno on COM3

Figura 11: Saída de dados com solução arbitrária entre o detector e o sensor.

O dispositivo aqui apresentado apresentou consistência dos dados gerados nas duas saídas. Para aplicação em fins didáticos, deve-se acoplar um detector óptico apropriado para determinado procedimento e calibrar. Após acoplado e calibrado o referido detector, um exemplo de procedimento é colocar no porta amostra água, executar uma medida para determinar o fluxo luminoso, sendo registrado o sinal. O segundo sinal será obtido após inserir no porta amostra uma solução padrão com características determinadas, obtendo-se um segundo sinal fluxo luminoso sendo os dados registrados. Assim, as absorbâncias obtidas podem ser utilizadas para construção de uma curva de calibração trivial “ $y=ax+b$ ”, onde y é a absorbância e x é a concentração. A absorbância é diretamente proporcional à concentração da amostra medida. As concentrações das soluções padrão são conhecidas e da amostra a ser analisada é desconhecida.

Uma das premissas do presente trabalho é o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo. Então foi feito um levantamento de custo dos componentes utilizados. A Tabela 3 mostra os valores médios, considerando-se a cotação do dólar: U\$ 1,00 = R\$ 5,60.

Tabela 3: Valor médio em Reais (R\$) dos componentes utilizados.

| Componentes | Preço em R\$ |
|-----------------------------|--------------|
| 1 protoboard | 8,00 |
| 1 sensor TSL2561 | 28,00 |
| 7 cabos e jumpers | 25,00 |
| 1 resistor 330Ω | 4,00 |
| 1 Arduino Uno | 40,00 |
| 1 conjunto de leds | 5,00 |
| Materias para porta amostra | 10,00 |
| Total | 120,00 |

Portanto, foram gastos em média R\$ 120,00 com os componentes mínimo para construção do fotômetro didático. O mínimo de *software* utilizado é a IDE do Arduino que se trata de um *software* livre.

5. Conclusão

No presente trabalho foi estudado e desenvolvido um fotômetro de baixo custo com finalidades didáticas, baseado em um microcontrolador do projeto Arduino, contemplando uma das premissas do estudo que é o uso de *hardware* e *software* livre. O dispositivo desenvolvido trata-se de um instrumento que envolve conhecimentos multidisciplinar, contemplando áreas distintas que colabora para seu uso didático, sendo que as configurações técnicas como ganho e tempo de integração são realizadas no próprio código fonte.

O dispositivo estudado, projetado e com protótipo construído se mostra como um recurso colaborador, pois tem como objetivo apresentar propostas de experimentos para o uso didático, usando materiais de baixo custo na aquisição de dados, hardware e software de código aberto e livre, ou seja, tecnologia mais atualizada em computação baseada em microcontroladores, automatizando a coleta e processamento de dados, em detrimento aos métodos antigos e tradicionais. Assim, a aplicação aqui apresentada, demonstra o potencial dessa abordagem, que pode ser

constatado pela capacidade de manipular os dados provenientes das portas digitais da plataforma possibilitando uma ampla variedade de aplicações em experimentos e demonstrações, agregando valor no uso de novas tecnologias na formação do conhecimento.

A saída de dados tem a capacidade de ser ajustada tanto para medidas de transmitância como absorbância, conforme mostrado, podendo esse ajuste ser feito também no próprio código fonte da aplicação. A escolha do uso e a calibração do dispositivo são feitas de acordo com o uso da parte experimental a ser aplicada juntamente com o estudo a ser realizado. Considerando-se os objetivos iniciais com suas premissas, a saída de dados contempla tais determinações aqui descritas.

O protótipo projetado e desenvolvido demonstra características de precisão e baixo custo, que pode ser calibrado para uso em medidas fotométricas, trabalhando numericamente os dados gerados. A calibração do fotômetro não faz parte do escopo do trabalho, pois a proposta é que o dispositivo seja adaptável e escalonável para cada finalidade didática, sendo sua calibração específica para determinada situação. Também cabe aqui documentar que é importante destacar a quantidade e qualidade de dados obtidos no aparato experimental, destacando a maior precisão, e facilidade de exportar esses dados para serem processados, agregando maior valor e confiabilidade nos relatórios que serão produzidos, diminuindo o tratamento de erros nas medidas.

Durante o desenvolvimento desse trabalho foi realizado o estudo e pesquisa de componentes eletrônicos que foram ou podiam ser utilizados, bem como os artefatos de software e hardware utilizados, colaborando para a grande ampliação do conhecimento nessas áreas. Assim, a interface adequada para a saída de dados é o monitor serial, pois pode ser manipulada facilmente, visto que instituições de ensino podem usar ferramentas de análise como o Microsoft Excel, MATLAB da *MathWorks*, entre outros que operam localmente e até mesmo plataformas como o *ThingSpeak* que permite o controle e configuração do dispositivo remotamente.

5.1 Trabalhos Futuros

Como propostas para trabalhos futuro, uma delas é conectar o dispositivo a uma plataforma de IoT, para controle e obtenção de dados remotamente e em uma outra proposta é depois do dispositivo calibrado é trabalhar e catalogar uma base de dados com inteligência artificial, que através da leitura dos dados pelo sensor, ter um reconhecimento de padrões, ou seja, a partir de uma medida, consultar o resultado em uma base e reconhecer que tipo de amostra está sendo observada, constituindo uma interpretação em tempo real, propondo assim um instrumento inteligente e autônomo.

Bibliografia

- [1] T. Owen, "Principles and applications of UV-visible spectroscopy," em *Fundamentals of modern UV-visible spectroscopy*, Agilent Technologies, 2000, pp. 3-6.
- [2] SAYÃO, A.C. *Estudo e desenvolvimento dos parâmetros de projeto de um radiômetro solar multiespectral baseado em filtro de interferência variável aplicável ao sensoriamento ambiental e de aerossóis. Tese de Doutorado apresentada a Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.*
- [3] MOREIRA, A. F.; SANTOS, S. R. B.; COSTA JUNIOR, A. G. *Construção e Caracterização de um fotômetro destinado ao uso de aulas experimentais de química sobre a Lei de Beer-Lambert, vol. 2, 2016, pp. 142-151 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil.*
- [4] SOUZA, A. R. de et al. *A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. Revista Brasileira de Ensino de Física, Rio de Janeiro - RJ, v. 33, n. 1, p.1702-1-1702-5, 21 mar. 2011. Disponível em < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/331702.pdf> >. Acesso em maio de 2024.*
- [5] DANTAS, Francisca Myrtes De Sousa et al. *Os desafios do ensino da química do ensino médio. Anais VI CONEDU, Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/61861>>. Acesso em: 25/04/2024.*
- [6] HARRIS, D. A. *Química Analítica Quantitativa. Rio de Janeiro: LTC, 2008.*
- [7] SKOOG, D. A. et al. *Princípios de Análise Instrumental. Porto Alegre: Bookman / Grupo A, 2009.*
- [8] PUHL, R. B. *Desenvolvimento de um sistema de automatização de análise química para monitoramento de cloro, PH e turbidez em aplicações do agronegócio. 2017. 99f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2017.*

- [9] BASTOS, A. *Instrumentação, Eletrônica Analógica e Digital*. Rio de Janeiro RJ, 2002, 360p.
- [10] MOREIRA, M. A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 3.ed. Viçosa: UFV. 2007, 307p.
- [11] SPEGIORIN, D. A.C. *Projeto e desenvolvimento de um sistema dedicado ao controle e aquisição de dados para um detector de alta resolução espectral*. 2023. 78p. *Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*. São Paulo, 2023.
- [12] HECH, Eugene. *Optics*. 4.ed. New York: Addison-Wesley, 2002.
- [13] SILVA, C.M. *Desenvolvimento e caracterização do filtro óptico de interferência variável para detectores de alta resolução espectral e biosensores*. *Tese de Doutorado apresentada a Escola Politécnica, Universidade de São Paulo*. São Paulo, 2016.
- [14] ARDUINO. *What is Arduino?* Arduino.2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 28 de maio de 2024.



Assinatura do Orientador