



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE ARARAQUARA
INSTITUTO DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA
BACHARELADO EM QUÍMICA

AUGUSTO SCIAMANA DE MORAES

**Construção de Microtitulador Fotométrico Automático
Portátil para Quantificação de Dióxido de Enxofre**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Araraquara

13 de Janeiro de 2023

AUGUSTO SCIAMANA DE MORAES

**Construção de Microtitulador Fotométrico Automático
Portátil para Quantificação de Dióxido de Enxofre**

Monografia apresentada ao Instituto de Química, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Alves Cardoso

Araraquara
13 de Janeiro de 2023

M827c Moraes, Augusto Sciamana de
Construção de microtitulador fotométrico automático portátil
para quantificação de dióxido de enxofre / Augusto Sciamana
de Moraes. -- Araraquara, 2022
47 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Química) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Química,
Araraquara
Orientador: Arnaldo Alves Cardoso

1. Automação. 2. Medição. 3. Fotometria. 4. Dióxido de
enxofre. 5. Sulfitos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Química, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Augusto Sciamana de Moraes

Construção de Microtitulador Fotométrico Automático Portátil para Quantificação de Dióxido de Enxofre

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Alves Cardoso
Araraquara, 13 de janeiro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ARNALDO ALVES CARDOSO
Data: 23/01/2023 17:06:04-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Arnaldo Alves Cardoso

Instituto de Química - UNESP, Araraquara

Documento assinado digitalmente



MARIA ANGELICA MARTINS COSTA
Data: 23/01/2023 10:41:08-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dra. Maria Angélica Martins Costa Instituto

de Química - UNESP, Araraquara

Documento assinado digitalmente



JANY HELLEN FERREIRA DE JESUS
Data: 19/01/2023 18:12:41-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Dra. Jany Hellen Ferreira de Jesus Instituto

de Química - UNESP, Araraquara

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO

Nome: Augusto Sciamana de Moraes

Nome em citações bibliográficas: MORAES, A. S.

ENDEREÇO PROFISSIONAL

Av. Prof. Francisco Degni, 55 – Jardim Quitandinha, Araraquara – SP, 14800-900

FORMAÇÃO ACADÊMICA/TITULAÇÃO

Bacharel em Química – Instituto de Química UNESP - Araraquara

FORMAÇÃO COMPLEMENTAR (Se houver):

ATUAÇÃO PROFISSIONAL (Se houver):

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Artigos completos publicados em periódicos:

Artigos aceitos para publicação:

Livros e capítulos

Trabalhos publicados em anais de eventos científicos

Apresentações de trabalho e/ou palestra

Demais produções técnicas (Se houver)

PARTICIPAÇÃO EM BANCAS (Se houver)

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

Congresso de Iniciação Científica (CIC) - 2021

Congresso de Iniciação Científica (CIC) - 2022

ORIENTAÇÕES (Se houver)

Dedicatória

- À minha Família, pelo amor e suporte em toda minha trajetória.
- Ao meu orientador, Arnaldo, pela sua paciência, conselhos e ensinamentos que foram essenciais para meu desenvolvimento.
- Aos meus amigos e colegas que mesmos distantes se fazem tão presentes.
- Aos meus companheiros de república, que estiveram sempre presentes direta ou indiretamente em todos os momentos de minha formação.

Agradecimentos

À minha família, pelo apoio e amor em toda a minha trajetória;
Ao meu orientador, pela confiança e incentivo que me foi dado;
À banca examinadora, por aceitar o convite;
À minha república, pelo lar e aprendizado durante minha graduação;
Aos meus amigos, pelas dores confortadas;
Aos meus colegas, pelos momentos compartilhados;
Aos meus professores, que me ensinaram muito além de Química;
Aos órgãos de financiamento de pesquisa no Brasil, pela ajuda e incentivo;
E a todos, pelas lembranças criadas que levarei em toda minha vida.

“Eu, um universo de átomos, um átomo no universo.”

(Richard Feynman).

“A vida me ensinou a nunca desistir. Nem ganhar, nem perder, mas procurar evoluir.”

(Alexandre Magno Abrão).

Resumo

O Dióxido de enxofre (SO₂) é um gás incolor, mas com um intenso odor característico. Sua formação pode ocorrer naturalmente, muito presente em ambientes de atividade vulcânica e fontes termais. É também de origem antropogênica, formado a partir da queima de combustíveis fósseis e biomassa. Devido à sua alta reatividade, na atmosfera o SO₂ participa de diversas reações, podendo formar aerossóis finos, e também a formação de chuvas ácidas. Os aerossóis finos quando inalados, comprometem todo o sistema respiratório, podendo causar desde falta de ar, até a danos mais severos à saúde. A produção antropogênica de SO₂ é feita em grande escala, devido à sua importância para a indústria alimentícia, o qual é utilizado como conservante de alimentos. O dióxido de enxofre e suas formas estabilizadas, como sais de sulfito de sódio (Na₂SO₃) ou cálcio (CaSO₃), são utilizados devido ao efeito inibidor de crescimento de bactérias, bolores e leveduras. Desta forma, a quantificação de SO₂ é fundamental, não só para estudos ambientais como também relacionados à segurança alimentar. Porém, métodos analíticos para quantificação de dióxido de enxofre são um problema analítico relevante. Devido à sua alta reatividade, o transporte, conservação e manuseio de amostras contendo SO₂ ou sulfito pode interferir na sua quantificação, os quais muitas vezes, os resultados de análises são decisivas para tomadas de decisões rápidas e importantes. Este trabalho visa o desenvolvimento de uma microcâmara de reação e que possa ser utilizada diretamente em um fotômetro portátil para obtenção de medidas *in situ*. Entre as qualidades que buscamos está a redução do volume de reagentes, equipamentos de fácil manuseio e mobilidade, podendo este ser transportado e utilizado próximo de onde serão realizadas as análises, a fim de diminuir as possíveis perdas na estocagem da amostra e garantir um resultado rápido no local onde o problema foi detectado.

Palavras chave: Miniaturizado, Quantificação, Fotômetro, Dióxido de Enxofre, Sulfito.

Abstract

Sulfur dioxide (SO₂) is a colorless gas, but with an intense characteristic odor. Its formation can occur naturally, very present in environments of volcanic activity and hot springs. It is also of anthropogenic origin, formed from the burning of fossil fuels and biomass. Fine aerosols, when inhaled, compromise the entire respiratory system, and can cause anything from shortness of breath to more severe damage to health. The anthropogenic production of SO₂ is carried out on a large scale, due to its importance for the food industry, which is used as a food preservative. Sulfur dioxide and its stabilized forms such as sodium sulfite (Na₂SO₃) or calcium sulfite (CaSO₃) salts are used due to their inhibitory effect on the growth of bacteria, molds and yeasts. Therefore, the use of these preservatives must be monitored to prevent consumption from exceeding the Acceptable Daily Intake (ADI - 0.7mg/Kg body weight). In this way, SO₂ quantification is fundamental, not only for environmental studies but also related to food safety. However, analytical methods for quantification of sulfur dioxide is a relevant analytical problem. Due to their high reactivity, the transport, conservation and handling of samples containing SO₂ or sulfite can interfere with their quantification, which, many times, the analysis results are decisive for fast and important decision-making. Reliable, fast, portable and low-cost analytical methods become very necessary in this scenario and can help solve various problems related to human health and nature. This work aims to develop a micro reaction chamber that can be used directly in a portable photometer to obtain in situ measurements. Among the qualities we look for is the reduction in the volume of reagents, equipment that is easy to handle and mobile. This can be transported and used close to where the analyses will be carried out, in order to reduce possible losses in the sample storage and guarantee a quick result in the place where the problem was detected.

Keywords: Miniaturized, Quantification, Photometer, Sulfur Dioxide, Sulfite.

Lista de ilustrações

Figura 1 - Esquematização do Princípio de Lambert-Beer em um Espectrofotômetro	18
Figura 2 - Esquema dos Componentes de um Espectrofotômetro Profissional . . .	18
Figura 3 - Possíveis Fenômenos da Radiação Eletromagnética em Fotometria . . .	19
Figura 4 - Visão Superior do Suporte Pelo Software de Impressão 3D FreeCad . .	20
Figura 5 - Visão Lateral do Suporte Pelo Software de Impressão 3D FreeCad . . .	20
Figura 6 - Visão em Perspectiva do Suporte	21
Figura 7 - Espectro de Emissão de LED's	22
Figura 8 - Molécula de Oxalato de Verde de Malaquita	28
Figura 9 - Volume Mínimo de Solução na Cubeta Para Obtenção de Sinal no Fotômetro	29
Figura 10 - Espectro de Absorção do Indicador Verde de Malaquita	30
Figura 11 - Espectro de Absorção do Descoramento da Solução Padrão em Função do Tempo.....	31
Figura 12 - Descoramento da Solução após 24h.....	31
Figura 13 - Comparativo da Absorção da Solução Aberta X Fechada após 2h	32
Figura 14 - Passagem de Luz Pela Abertura do Suporte	33
Figura 15 - Preço Kit Fotômetro YSI 9300 Basic Photometer	35
Figura 16 - Preço Kit Arduino.....	35

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparativo da Absorvância da Solução Aberta e Fechada em Diferentes Tempos de Amostragem.....	32
Tabela 2 - Relação Entre Vazão do Gás de Arraste vs Borbulhamento	33

Lista de abreviaturas e siglas

3D	Três Dimensões
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
C ₂ H ₃ NaO ₂	Acetato de Sódio
EUA	United States of America
FDA	Food and Drug Administration
H ₂ O	Água
H ₂ SO ₃	Ácido Sulforoso
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
HNO ₃	Ácido Nítrico
I ² C	Inter-Integrated Circuit
ID	Identificação Digital
IDE	Integrated Development Environment
IR	Infra-Red
LED	Light Emitting Diode
LUX	Unidade de Iluminamento
N ₂	Nitrogênio
NO	Monóxido de Nitrogênio
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio
Na ₂ SO ₃	Sulfito de Sódio
O ₂	Oxigênio
OUTPUT	Saída
PET	Politereftalato de Etileno
PETG	Poliétileno Tereftalato Glicol
PLA	Ácido Poliláctico
PVC	Policloreto de Polivinila

SO ₂	Dióxido de Enxofre
UE	União Européia
UV	Ultra Violeta
VM	Verde Malaquita
ppm	Partes por Milhão

Sumário

1	Introdução.....	13
1.1	Efeitos do SO₂ na Natureza.....	13
1.1.1	Diminuição de Visibilidade.....	14
1.1.2	Chuva Ácida	14
1.1.3	Danos à Vegetação.....	15
1.1.4	Danos a Fontes de Água.....	15
1.2	Fontes de Dióxido de Enxofre.....	15
1.3	Usos Antrópicos de Dióxido de Enxofre e Sulfito	16
1.4	A Química Analítica e os Métodos Analíticos	16
1.4.1	Titulação Volumétrica.....	16
1.4.2	Titulação Fotométrica.....	17
1.4.3	Princípio de Lamber-Beer.....	17
1.5	Instrumentação	18
1.5.1	Impressão 3D	19
1.5.2	Arduino UNO	21
1.5.3	Emissor de Luz.....	21
1.5.4	Detector de Luminosidade	22
1.5.5	Cubeta.....	23
1.5.6	Reações para Identificação de Dióxido de Enxofre	23
2	Objetivos	24
2.1	Objetivos Gerais	24
2.2	Objetivos Específicos.....	24
3	Metodologia de Trabalho	25
3.1	Materiais e Equipamentos	25
3.2	Soluções e Reagentes Utilizados.....	25
3.3	Procedimento Experimental	26
3.3.1	Desenvolvimento do Suporte da Cubeta	26
3.3.2	Montagem e Calibração do Fotômetro	26
3.3.3	Montagem e Calibração do Borbulhamento.....	26
3.3.4	Programação do Arduino para Obtenção de Dados	27
3.3.5	Reação de Descoramento do Verde Malaquita pelo SO₂	27
4	Resultados e Discussão	29
4.1	Soluções Utilizadas e Padronização	29
4.2	Fluxo de gás.....	32

4.3	Fotômetro	33
4.4	Titulação.....	34
5	Estimativa de Preço	35
6	Conclusão.....	36
	Referências.....	37
	 APÊNDICES	 39

1 Introdução

O Dióxido de Enxofre (SO_2) é um gás incolor com odor intenso e característico, e causa irritação intensa quando em contato com superfícies úmidas e mucosas devido à sua alta solubilidade com a água. Sua forma hidratada é o ácido sulfuroso (H_2SO_3). Posteriormente o oxigênio oxida o enxofre presente no sulfito, convertendo o ácido sulfuroso em ácido sulfúrico (H_2SO_4) ⁽¹⁾.

O SO_2 é usualmente encontrado na atmosfera de cidades que utilizam combustíveis fósseis como fonte de energia. Para a população geral, a principal via de exposição ao dióxido de enxofre é a inalatória. A exposição prolongada ao SO_2 acarreta diversos malefícios à saúde, entre os principais está irritação aos olhos, nariz e garganta, acarretando também dificuldade respiratória e agravamento de doenças cardiovasculares e respiratórias ⁽²⁾.

Os sintomas físicos são variados, podendo ser acúmulo de secreções, chiado no peito, falta de ar, tosse, ânsia e crise de asma, sendo capaz de levar à morte quando exposto por um período prolongado e em ambientes com pouca troca de ar. Os sintomas variam conforme o tempo de exposição, e à dose exposta ⁽²⁾.

O dióxido de enxofre após ser incorporado às gotículas de água na atmosfera, pode reagir com amônia acarretando formação de sulfato na forma de material particulado. Essas partículas são muito pequenas em decorrência do seu processo de formação. Assim, devido ao seu pequeno tamanho, os sulfatos facilmente penetram no trato respiratório podendo chegar até aos pulmões. Esta ação direta nos pulmões pode causar ou agravar doenças respiratórias como efisema e bronquite, podendo também agravar doenças cardiorrespiratórias pré-existentes, e, conseqüentemente, podendo levar à internação e também à morte prematura ⁽³⁾.

Os limites de concentração de SO_2 para pessoas que possuem uma elevada sensibilidade, como as crianças e asmáticos, o recomendado para este gás é ⁽⁴⁾:

- 0.20 ppm por períodos de exposição de 1h
- 0.08 ppm por período de exposição de 24h
- 0.02 ppm por período de exposição anual

1.1 Efeitos do SO_2 na Natureza

Os principais efeitos que o dióxido de enxofre atmosférico causa no ambiente são: diminuição de visibilidade (devido à formação de aerossóis finos), corrosão de materiais e danos à vegetação. Em decorrência da formação de ácido sulfúrico na atmosfera, acarreta na formação de chuva ácida ⁽⁵⁾.

1.1.1 Diminuição de Visibilidade

A diminuição da visibilidade ocorre devido à presença de materiais particulados com tamanho suficiente para interagir com a radiação solar no comprimento de onda da luz visível, resultando na absorção e espalhamento da luz visível. Os materiais particulados suspensos provenientes de sulfatos equivalem a cerca de 5 – 20% do total de material particulado suspenso no perímetro urbano ⁽⁶⁾.

1.1.2 Chuva Ácida

A deposição destes compostos pode ocorrer tanto na forma seca (gás e material particulado) quanto em forma aquosa (chuva, neve e neblina).

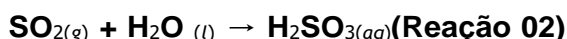
A deposição ácida e/ou chuva ácida ocorre quando há elevadas emissões de Óxidos de Enxofre (SO_x) e Óxidos de Nitrogênio (NO_x) na atmosfera, podendo reagir com Água, Oxigênio e/ou Radicais para formar Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) e Ácido Nítrico (HNO₃) ⁽⁶⁾.

Na queima de combustíveis, o nitrogênio gasoso (N₂) pode reagir com o oxigênio molecular (O₂) para formar Óxidos de Nitrogênio (NO_x).

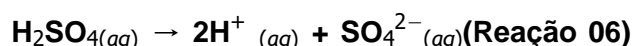
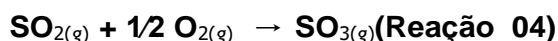


Na atmosfera o NO formado pode ser oxidado a Dióxido de Nitrogênio (NO₂) (o qual apresenta coloração marrom, muito comum em cidades metropolitanas), posteriormente, o NO₂ formado pode sofrer novas reações para formar Ácido Nítrico (HNO₃) ⁽⁷⁾.

O SO₂ liberado na queima de combustíveis fósseis (óleo, carvão, gasolina) reage com a água atmosférica, formando ácido sulfuroso.



O Dióxido de Enxofre pode também sofrer oxidação na atmosfera, formando Trióxido de Enxofre (SO₃), o qual em contato com a água, forma ácido sulfúrico (H₂SO₄), acarretando chuva ácida ⁽⁷⁾.



A medida de acidez da chuva é feita utilizando a água deionizada como referência, por meio da medição do Log da concentração de íons H⁺.

A água pura tem concentração de aproximadamente de 10⁻⁷ de íons H⁺, (pH = 7).

A chuva ácida proveniente de regiões onde há grandes emissões de dióxido de enxofre, pode apresentar faixa de pH 4,0 ~ 5,0 ^{(6) (7)}.

1.1.3 Danos à Vegetação

O dano causado pelo SO₂ atmosférico nas plantas ocorre em sua maioria em suas folhas, devido à respiração celular.

O dióxido de enxofre é absorvido nas folhas, convertido pela planta para sulfito, e posteriormente para sulfato. Porém, em concentrações elevadas de SO₂ as células reduzem a capacidade de realizar esta oxidação, começando a se deteriorar, podendo acarretar necrose celular, e posteriormente a morte da planta ⁽⁷⁾.

Com isso, o SO₂ dificulta o crescimento e desenvolvimento da vegetação, acarretando assim em outros danos à natureza ao redor ⁽⁷⁾.

1.1.4 Danos a Fontes de Água

A presença da chuva ácida em águas superficiais tem um grande impacto negativo, pois acarreta sua acidificação, tendo um impacto devastador para a vida aquática, tanto animal quanto vegetal. A reprodução de diversas espécies de peixes é prejudicada em águas com pH < 5,5.

O crescimento de plânctons, insetos, algas e larvas é prejudicado em águas ácidas, o qual tem impacto direto no suprimento de alimento para os peixes maiores. Em casos de pH 4,0 - 4,5 pode ocorrer a intoxicação desses peixes, podendo-os levar à morte ⁽⁷⁾.

Isso também leva a um solo submarino com baixa concentração de nutrientes, tendo assim, um impacto direto na vegetação submarina, dificultando ou até mesmo inviabilizando o seu desenvolvimento, podendo acarretar também na deterioração física desta vegetação, sendo possível visualizar a sua corrosão ^{(7) (8)}.

O solo também pode ser acidificado pela chuva, porém alguns tipos de solos tem capacidade de neutralizar parcialmente a acidez da chuva devido à presença de calcário e cal (CaCO₃ e CaO) natural em sua composição. Os solos que não possuem tais compostos são mais suscetíveis à acidificação.

Uma chuva ácida provoca solubilização de metais pesados tóxicos que estavam imobilizados na forma de óxidos básicos comuns em diversos tipos de solo. A liberação de metais solúveis pode contaminar lagos e rios, podendo intoxicar a vida aquática ⁽⁷⁾.

1.2 Fontes de Dióxido de Enxofre

Apesar de o dióxido de enxofre ser considerado um poluente relacionado às atividades antropogênicas, existe também fontes de SO₂ na natureza. As principais fontes

antrópicas de dióxido de enxofre vem da queima de combustíveis fósseis, biomassa e minérios ⁽⁸⁾.

1.3 Usos Antrópicos de Dióxido de Enxofre e Sulfito

O sulfito é um conservante alimentício muito utilizado, sendo adicionado em uma vasta gama de alimentos e bebidas a fim de evitar seu escurecimento, o seu crescimento bacteriano e para controlar reações enzimáticas durante sua produção e armazenamento. Além disso, o sulfito é também conhecido por apresentar alguns efeitos citotóxicos, mutagênicos e efeitos antinutricionais, podendo interagir com algumas vitaminas como, por exemplo, a nicotinamida, tiamina e ácido fólico, reduzindo assim a qualidade nutricional dos alimentos tratados.

Alguns indivíduos podem manifestar sensibilidade aos aditivos de sulfito, podendo apresentar uma variedade de reações alérgicas. Devido à isso, a Food and Drug Administration (FDA) dos EUA e da União Européia (UE) criaram leis que exigem que a presença de sulfitos seja declarada nos rótulos dos alimentos quando sua concentração exceda à 10 mg/L. A determinação de sulfito em processos biológicos e industriais é importante principalmente pelo seu aspecto de segurança alimentar ⁽⁹⁾.

1.4 A Química Analítica e os Métodos Analíticos

Desde o surgimento da química, o desenvolvimento de métodos analíticos tem um papel muito importante em seu desenvolvimento. Com o surgimento de problemas analíticos diversos, surge a necessidade de solucioná-los. Assim, cabe ao químico analítico o desenvolvimento e o planejamento de um procedimento experimental apropriado.

O desenvolvimento de um procedimento experimental envolve a seleção de um método apropriado de análise com base em critérios estabelecidos, como: exatidão, sensibilidade, precisão, limite de detecção, urgência dos resultados da análise, custo de uma única análise, número de amostras, quantidade de amostra disponível para análise. Deve-se considerar também a coleta, armazenamento e preparação amostral. No entanto, todos esses resultados e parâmetros são inúteis caso não haja um padrão confiável e um método para validação de resultados ⁽¹⁰⁾.

1.4.1 Titulação Volumétrica

A titulação volumétrica é um dos principais métodos analíticos utilizados, devido à sua praticidade e simplicidade. Este método consiste na quantificação de um composto que foi preparado em forma de solução de concentração desconhecida, porém em um recipiente de volume conhecido. Uma alíquota da amostra da solução reage com um rea-

gente de concentração conhecida e previamente padronizado. Para se ter uma titulação efetiva, alguns parâmetros são necessários, como por exemplo: reação rápida, apresentar mudanças químicas ou físicas e no ponto de viragem a reação deve se processar por completa ⁽¹¹⁾.

1.4.2 Titulação Fotométrica

A fotometria é uma técnica de análise quantitativa muito utilizada devido à sua confiabilidade de resultados, e pela simplicidade de seu procedimento analítico. Na fotometria, a quantificação do analito de interesse está relacionado, à concentração do analito na amostra. A medida depende da absorção de energia eletromagnética incidida na amostra contendo moléculas opticamente ativas presente no caminho ótico conhecido. A faixa de atuação da fotometria é ampla, podendo ser desde o infravermelho até o ultravioleta, de 800-180 nm respectivamente ⁽¹²⁾.

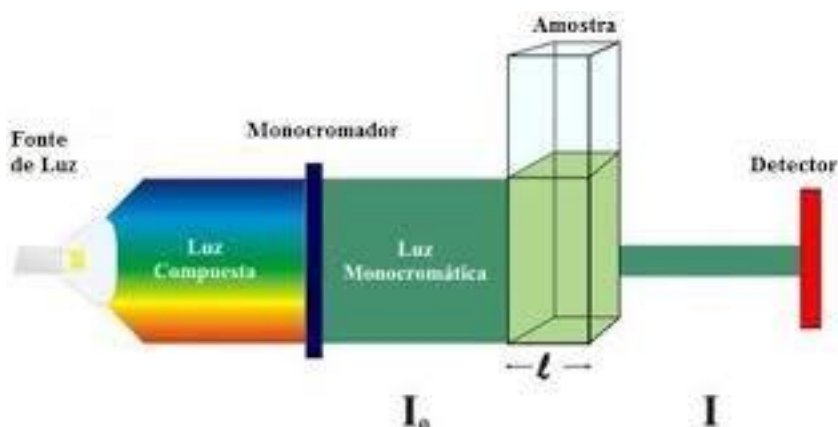
Com a incidência de energia eletromagnética na amostra, podem ser realizadas dois tipos de medições. Quando radiação eletromagnética incidida atravessa a amostra em um caminho ótico conhecido, uma fração da luz incidida é absorvida. Essa fração é chamada de Absorvância e/ou Absorbância. A medida da absorção da radiação é feita indiretamente medindo-se a fração da luz transmitida pela solução presente no caminho ótico. O equipamento deve ter uma fonte de luz monocromática, um fotosensor e um conversor de luz em sinal analítico. Em resumo, a medição é feita pela razão entre a luz emitida e transmitida através de um meio contendo apenas o solvente, em um caminho ótico conhecido, e depois, a luz transmitida nas mesmas condições, mas agora na solução contendo a espécie de interesse a qual absorve luz ⁽¹³⁾.

Muitas vezes, o analito de interesse não absorve luz, nesses casos, é possível utilizar um reagente que reage com o analito de forma quantitativa, produzindo um composto que absorve luz ⁽¹⁴⁾.

1.4.3 Princípio de Lamber-Beer

A construção de um fotômetro é relativamente simples, tem como seus principais componentes uma fonte de radiação eletromagnética monocromática, um recipiente transparente e de caminho ótico conhecido que recebe a amostra de interesse a ser analisada. A medida de luz transmitida pela solução contendo a amostra é feita por um sensor fotoelétrico alinhado ao feixe de luz. A redução da intensidade luminosa incidida com o uso apenas do solvente e posteriormente o solvente contendo a espécie absorvedora resulta no sinal analítico⁽¹⁴⁾.

Figura 1 – Esquemática do Princípio de Lambert-Beer em um Espectrofotômetro

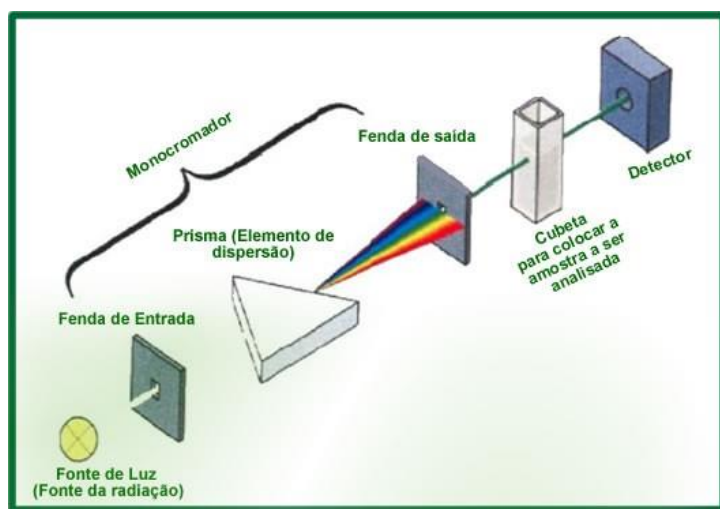


SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, Fundamentos de Química Analítica, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

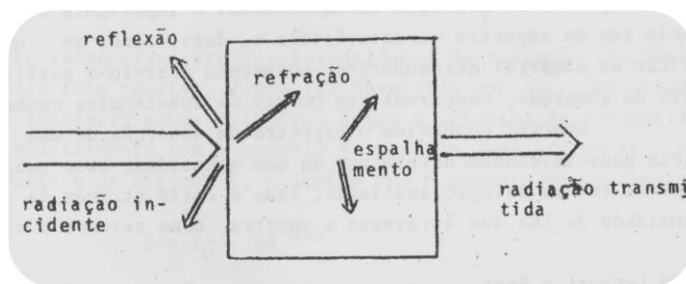
1.5 Instrumentação

A construção de um fotômetro é relativamente simples, tem como seus principais componentes uma fonte de radiação eletromagnética monocromática, um recipiente transparente contendo a amostra de interesse a ser analisada, e após a passagem da radiação pela amostra é posicionado o sistema de detecção, o qual consiste em um sensor fotoelétrico alinhado ao feixe de luz, para que assim seja realizado a medição da radiação que atravessou a amostra. A redução da intensidade luminosa incidida é medida pelo sensor, pois acarreta uma diferença de sinal elétrico que chega ao mesmo, diminuindo o sinal elétrico produzido pelo sensor ⁽¹³⁾.

Figura 2 – Esquema dos Componentes de um Espectrofotômetro Profissional



Disponível em: <https://www.infoescola.com/materiais-de-laboratorio/espectrofotometro/>. Acessado em 25/10/2022

Figura 3 – Possíveis Fenômenos da Radiação Eletromagnética em Fotometria

SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH, Fundamentos de Química Analítica, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

1.5.1 Impressão 3D

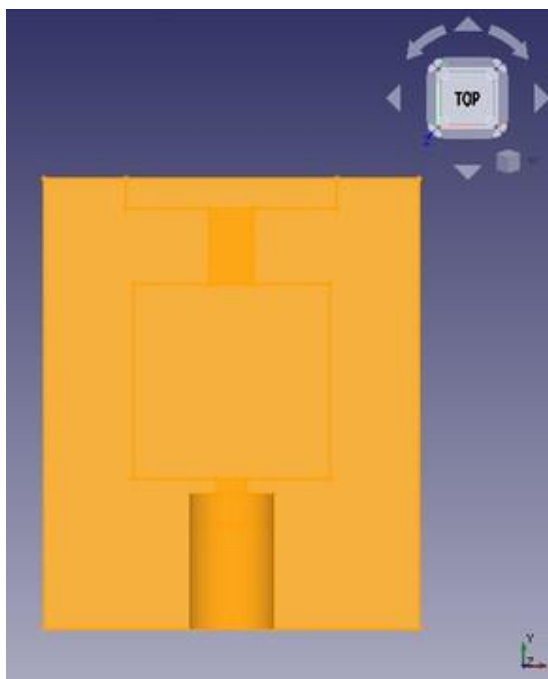
A impressão 3D é uma técnica que permite a fabricação de diversas peças, com elevada precisão, velocidade e de baixo custo. No mercado existem diversos tipos de impressões 3D, por exemplo, a impressão por deposição de filamentos em camadas e a impressão por polimerização de resina utilizando luz UV. Na impressão por deposição de camadas, um filamento de polímero é fundido a ponta do bico de impressão, feita a sua deposição em camadas horizontais. A impressão por polimerização, é utilizada uma resina líquida, incidida por uma luz UV focalizada, a qual solidifica a resina em pontos selecionados ⁽¹⁵⁾.

Embora ainda não seja tão difundido a utilização de impressoras 3D, estas ainda apresentam um elevado custo benefício, quando comparadas com outras técnicas para produção de peças, como, por exemplo, a usinagem, pois a impressão 3D permite a fabricação de peças mais complexas e com um custo muito menor na produção em baixas quantidades da peça em relação às peças injetadas.

Dentre os filamentos mais utilizados na impressão 3D, encontra-se o filamento ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) e o PLA (Poliácido Láctico), mas ainda existem diversos outros tipos de filamento, como, por exemplo, o Tritan, PET e o PETG ⁽¹⁵⁾.

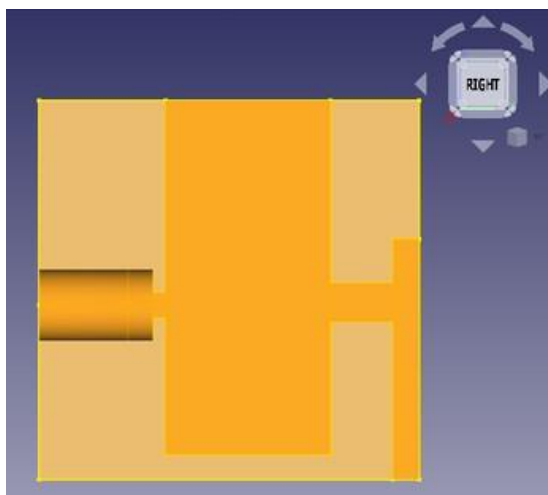
O filamento ABS é um polímero derivado de petróleo, e assim, possui elevada resistência em altas temperaturas, além de ter um custo relativamente baixo. O filamento PLA é um polímero derivado do amido de milho e/ou da cana-de-açúcar, com isso, as impressões que utilizam este filamento tem baixa resistência com a água e tem um tempo de vida útil menor, quando comparado com o filamento ABS ⁽¹⁵⁾.

Figura 4 – Visão Superior do Suporte Pelo Software de Impressão 3D FreeCad

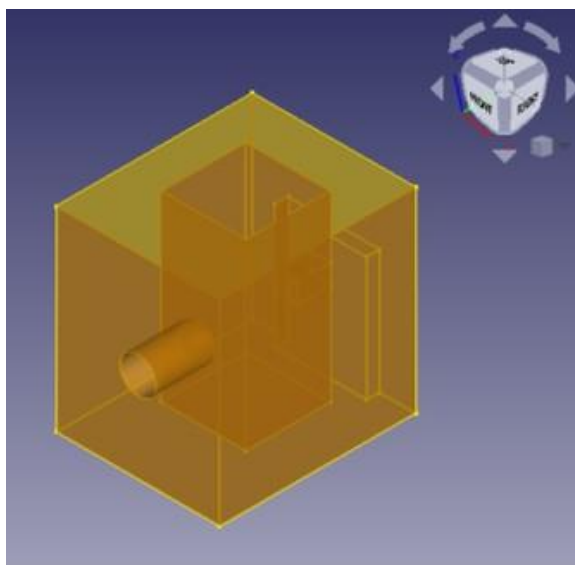


Fonte: Próprio Autor

Figura 5 – Visão Lateral do Suporte Pelo Software de Impressão 3D FreeCad



Fonte: Próprio Autor

Figura 6 – Visão em Perspectiva do Suporte Pelo Software de Impressão 3D FreeCad

Fonte: Próprio Autor

1.5.2 Arduino UNO

“Arduino is an open-source electronics platform based on easy-to-use hardware and software. Arduino’s boards are able to read inputs - light on a sensor, a finger on a button, or a Twitter message - and turn it into an output - activating a motor, turning on an LED, publishing something online. You can tell your board what to do by sending a set of instructions to the microcontroller on the board. To do so you use the Arduino programming language (based on Wiring), and the Arduino Software (IDE), based on Processing.”

(ARDUINO, 02/2018)

“Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, baseado em um hardware e um software de fácil utilização. A placa do Arduino consegue ler entradas – luz de um sensor, um dedo em um botão, ou uma mensagem do Twitter - e transformar em um sinal de saída - acionar um motor, acender um LED, publicar algo online. Você consegue dizer para a placa o que fazer, ao enviar um conjunto de instruções ao microcontrolador da placa. Para isso, você deve utilizar a Linguagem de Programação Arduino (baseado em sua pinagem na placa), e o Software Arduino (IDE), baseado no processamento” ⁽¹⁶⁾ ⁽¹⁷⁾.

1.5.3 Emissor de Luz

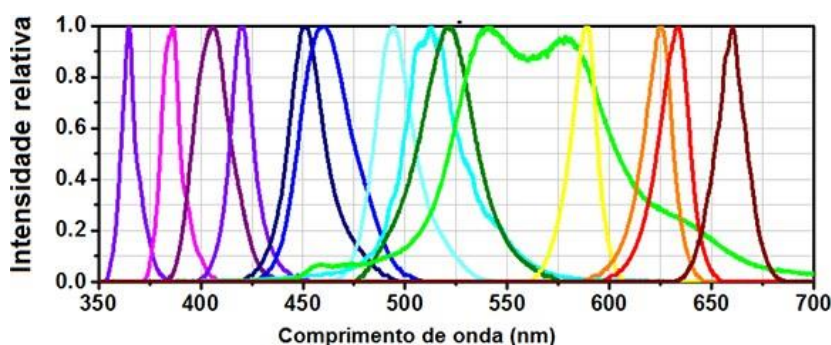
Com o surgimento de espectrofotômetros em 1940, os equipamentos utilizam lâmpadas de tungstênio como fonte de energia eletromagnética, porém sua utilização tinha um elevado consumo de energia elétrica e também alta emissão de calor. Embora possua

pontos negativos, as lâmpadas de tungstênio ainda são muito utilizadas atualmente, pois apresentam um baixo valor comercial e de fácil aquisição no mercado. Além disso, as lâmpadas de tungstênio emitem luz em uma ampla faixa do espectro eletromagnético, possibilitando assim análises mais eficientes, quando selecionado o comprimento de onda a ser analisada.

Atualmente, há o desenvolvimento de novos componentes eletrônicos na construção de fotômetros, como, por exemplo, a utilização de LED's como fontes de emissão. Os primeiros LED's monocromáticos surgiram em meados de 1960, porém sua fabricação era cara e sua produção em larga escala era inviável, pois, havia um consumo energético muito menor e uma maior emissão de luz quando comparado às lâmpadas de tungstênio. Ao longo dos anos e com o avanço da tecnologia, a produção em larga escala de LED's se tornou possível, e com isso trouxe diversos benefícios, principalmente na redução de custo de produção e no consumo de energia, além de produzir menos calor e ter um maior controle na emissão de energia.

Os LED's mais atuais, conseguem emitir luz em uma ampla faixa do espectro eletromagnético, podendo substituir as lâmpadas de tungstênio.

Figura 7 – Faixa de comprimentos de onda de diferentes cores de LED



Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/8024-lampadas-de-leds-iluminacao-diferente-art1435>. Acesso: 15/07/2022

1.5.4 Detector de Luminosidade

O sensor de luminosidade TSL 2561 é um avançado sensor digital, o qual pode ser utilizado para uma ampla faixa de comprimento de onda, e em diferentes situações. Quando comparado com outras células CdS o TSL 2561 é mais preciso, permitindo uma quantificação precisa de Lux, e ainda, ser configurado para diferentes faixas de leitura, proporcionando leituras de 0,1 - 40,000+ Lux ⁽¹⁸⁾.

Além disso, o TSL 2561 permite análises tanto no infravermelho e na luz visível, quanto também fazer uma varredura completa no espectro eletromagnético, o qual a maioria dos sensores atua apenas em uma parte do espectro. ⁽¹⁸⁾ ⁽¹⁹⁾.

1.5.5 Cubeta

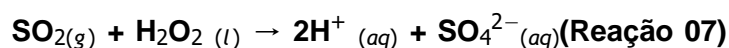
Em uma análise fotométrica, a escolha da cubeta adequada é essencial. Quando a análise atua no comprimento de onda da luz no visível, é utilizado cubetas de vidro, ou até mesmo de plástico. Nesta faixa de comprimento de onda, o material da cubeta (tanto vidro quanto plástico) não interfere na medição, pois o material que constitui a própria cubeta é inerte nesta faixa de energia.

Porém, quando a análise é feita na faixa de comprimento de onda no UV, a cubeta utilizada é a de quartzo, pois o vidro absorve energia nesta faixa de comprimento de onda, interferindo na análise, enquanto o quartzo é inerte tanto na comprimento de onda do visível quanto no UV.

Neste trabalho, a análise será realizada apenas na faixa visível do espectro, portanto, não será necessária a utilização de cubetas de quartzo.

1.5.6 Reações para Identificação de Dióxido de Enxofre

Inicialmente, este projeto teve como proposta o desenvolvimento de um método analítico baseado na absorção e oxidação de dióxido de enxofre por peróxido de hidrogênio e subsequente formação de ácido sulfúrico. A solução resultante pode ser titulada com hidróxido de sódio. A adição de perclorato de bário para titulação de íon sulfato tem sido usada para determinação de SO₂ em chaminés. Porém, este método apresenta dificuldades na determinação do ponto de viragem ⁽²⁰⁾.



2 Objetivos

2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho teve como principal objetivo, a construção de um Fotômetro portátil e de baixo custo, empregando um Arduino UNO para controle, automação e aquisição de dados, e buscar sua aplicação para compor um método analítico para determinação de SO_2 in situ.

2.2 Objetivos Específicos

Aprendizado de componentes eletrônicos para desenvolvimento do fotômetro, assim como, a construção do mesmo.

Desenvolvimento e utilização de programas computacionais para controle e aquisição de dados.

Utilização de componentes eletrônicos, de modo a aprimorar os resultados obtidos pelo microtitulador/fotômetro, visando a construção de um sensor de baixo custo e alta eficiência.

Avaliar algumas reações que possam converter o S(IV) na forma de SO_3^{2-} ou H_2SO_3 em um produto de reação que absorva luz na região do visível.

3 Metodologia de Trabalho

3.1 Materiais e Equipamentos

- Bomba de vácuo 3V
- Arduino UNO
- Software Arduino
- Conectores Jumpers
- Sensor de Luminosidade TSL 2561
- Diodo Emissor de Luz (LED)
- Cubeta Descartável 1mL
- Impressora 3D
- Filamento PLA (ácido polilático)
- FreeCad
- Suporte Cubeta
- Rotâmetro 5 - 50 mL/min
- Bolhômetro
- Tubos e Conectores TEFLON
- Espectrofotômetro

3.2 Soluções e Reagentes Utilizados

- Acetato de Sódio Anidro
- Sulfito de Sódio Anidro
- Água Deionizada
- Peróxido de Hidrogênio
- Ácido Clorídrico
- Hidróxido de Sódio
- Indicador Verde Malaquita

- Indicador Fenolftaleína
- Gás de Arraste (ar comprimido e filtrado)

3.3 Procedimento Experimental

3.3.1 Desenvolvimento do Suporte da Cubeta

Para a realização deste projeto, foi necessário o desenvolvimento de um suporte para a cubeta a qual seria realizado a amostragem junto da titulação da mesma. Para isso, o desenvolvimento do suporte foi realizado utilizando o sistema FreeCad. O suporte foi projetado com o intuito do desenvolvimento de uma microcâmara de reação, a qual poderia ser utilizada diretamente em conjunto com um fotômetro portátil, para obtenção de medidas *in situ*, como demonstrado nas figuras 4,5 6. A impressão da peça foi feita utilizando uma impressora 3D.

3.3.2 Montagem e Calibração do Fotômetro

Para a montagem do fotômetro, foi desenvolvido um suporte para a cubeta em que foi realizado a análise da amostra. Assim, a cubeta fica ao centro do suporte, à sua frente fica o LED utilizado para emissão de energia eletromagnética, e atrás, encontra-se o sensor TSL 2561, o qual é utilizado para medir a diferença de luz que atravessa a amostra, emitida pela LED. Para minimizar a entrada da luz do sistema, uma tampa para a cubeta foi desenvolvida e impressa. Ainda de modo a minimizar a entrada de luz, todo o sistema do suporte foi pintado de preto, na intenção de diminuir a passagem de luz de fora.

Para a calibração do fotômetro, preparou-se uma curva de calibração utilizando uma solução de concentração conhecida. Para isso, utilizou-se um fotômetro SHIMADZU UV-1800 Espectrophotometer para obtenção de resultados, e o valor obtido foi comparado com o valor obtido pelo fotômetro construído, utilizando sua unidade de medida (LUX) como referência.

3.3.3 Montagem e Calibração do Borbulhamento

Para a montagem do sistema de borbulhamento, foram utilizados tubos de PVC com 0,5 mm de diâmetro interno, para que assim, haja a formação de bolhas muito pequenas, resultando assim em bolhas com uma maior superfície de contato com a solução aonde irá ocorrer a reação, visando em um melhor aproveitamento do gás borbulhado para a formação do produto de interesse.

Um dos tubos é posicionado diretamente no interior da cubeta (para ser realizado o borbulhamento via arraste do gás). Outro tubo conectado da tampa da cubeta à bomba de vácuo de 3V no final do sistema, para ser realizado assim, o fluxo do gás do interior da cubeta para fora.

A calibração do sistema de borbulhamento, foi utilizado um rotâmetro de 5 – 50 mL/min fixo no início do equipamento, para assim, ter um controle da vazão do gás passado pelo sistema. Ainda para calibração, também foi utilizado um bolhômetro, a fim de ter um fluxo de gás com baixa variação e boa reprodutibilidade.

3.3.4 Programação do Arduino para Obtenção de Dados

Para a obtenção dos resultados e a automação do sistema, foi utilizado um Arduino UNO. O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, o qual é possível programá-lo para diversas situações.

Assim, foi utilizado inicialmente o software do Arduino para desenvolvimento do código de programação, onde o programa deveria inicialmente fazer uma leitura do valor de absorção pelo Branco (utilizado como material de referência), e armazenando seu respectivo resultado.

Com o início da titulação, o Arduino foi programado para realizar uma nova leitura sempre após o gotejamento e a ambientação da solução, armazenando em seguida, o valor de absorção da amostra.

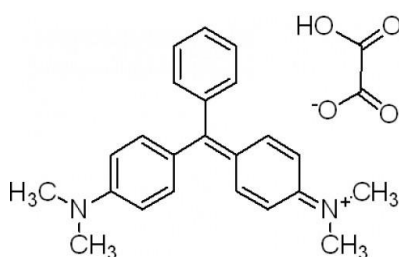
Com isso, é possível comparar o resultado obtido, com uma curva de calibração montada previamente.

3.3.5 Reação de Descoramento do Verde Malaquita pelo SO₂

Indicadores ácido-base são utilizados para poder determinar com elevada precisão, a mudança de pH em pontos específicos da amostra. O indicador utilizado neste trabalho é o Verde Malaquita (VM), o qual possui coloração verde-azulada em pH 7, e incolor em soluções básicas de pH superior à 11 ⁽¹⁰⁾.

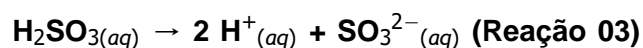
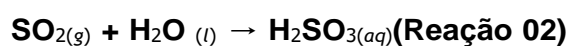
Sabendo-se que o SO₂ reage com o Verde Malaquita em condições próximo à neutralidade (pH 7), é utilizado uma solução tampão de acetato de sódio/ácido acético para garantir as condições necessárias para um melhor rendimento desta reação. A descoloração do VM é diretamente proporcional à concentração de dióxido de enxofre presente na solução ⁽²¹⁾.

Figura 8 – Molécula de Oxalato de Verde de Malaquita

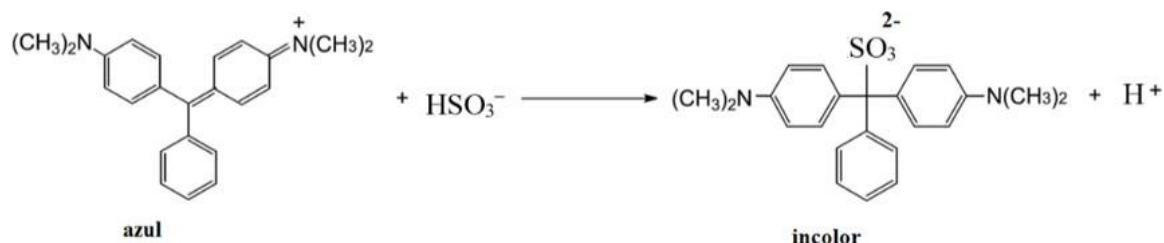


https://www.vhtex.com.br/index.php?route=product/product&product_id=201658

O SO_2 em contato com soluções aquosas forma o ácido sulfuroso, e posteriormente forma sulfito, como descrito à seguir:



Conforme o indicador Verde de Malaquita reage com o ácido sulfuroso, há a descoloração do indicador. A solução tampão de acetato atua no consumo dos íons H^+ formados, deslocando a reação para o descolorimento do indicador. Como demonstrado a seguir ⁽²²⁾.



(Abbas Afkhami et al., 2006)

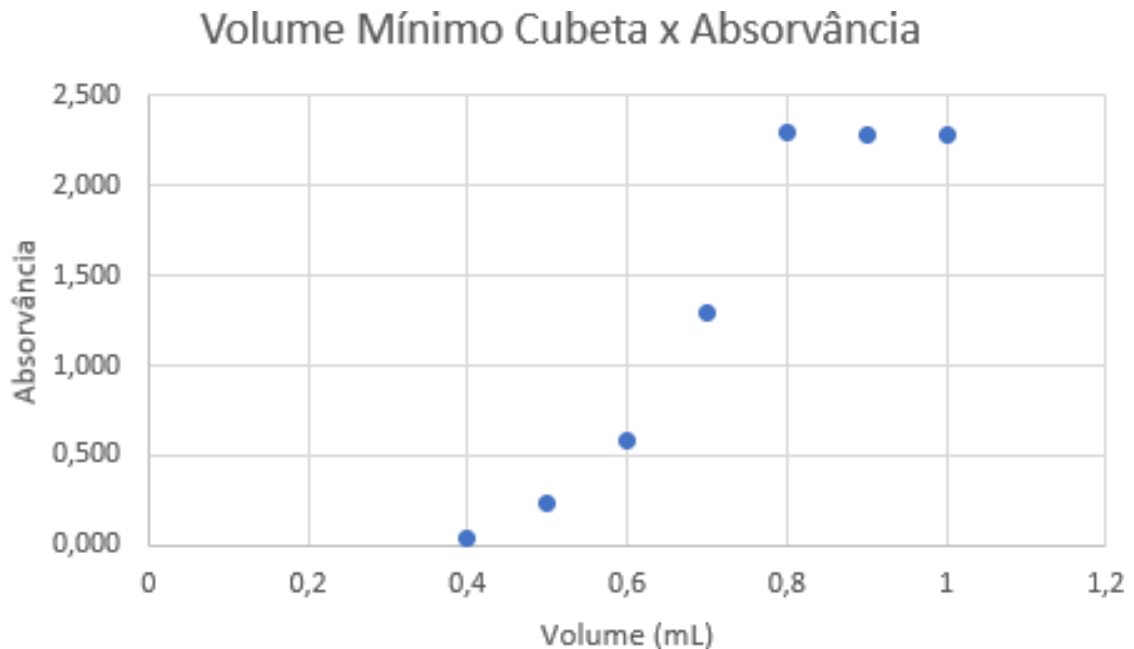
4 Resultados e Discussão

4.1 Soluções Utilizadas e Padronização

Como o intuito deste projeto visou a utilização da cubeta como uma microcâmara de reação embutida em um fotômetro utilizando o menor volume possível de solventes, deve-se inicialmente determinar o menor volume possível de solvente utilizado para poder realizar a reação e em seguida, a leitura pelo fotômetro.

Assim, preparou-se diversas amostras de mesma concentração, mas com variações de volume de 0,4 - 1 mL. Os resultados obtidos utilizando o fotômetro SHIMADZU UV-1800 são apresentados a seguir na figura 9

Figura 9 – Volume Mínimo de Solução na Cubeta Para Obtenção de Sinal no Fotômetro

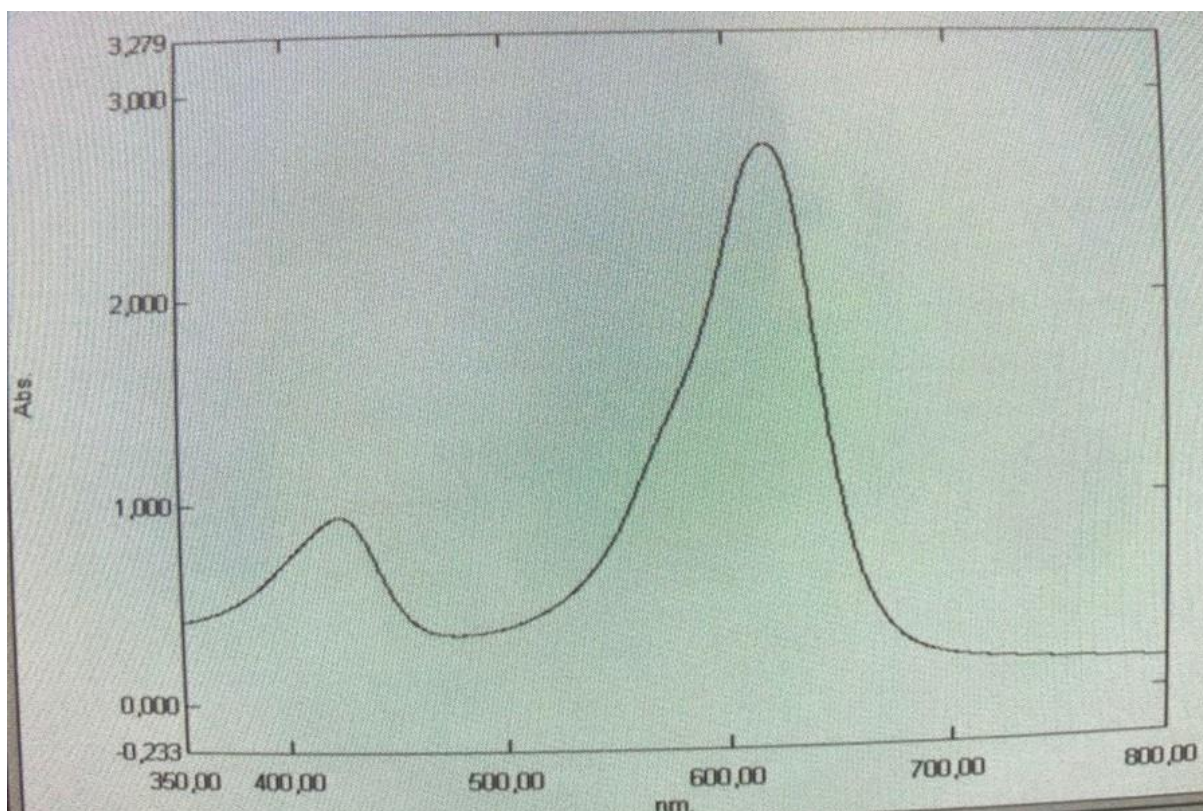


Fonte: Próprio Autor

Utilizando os resultados obtidos, vemos que, para obter um resultado confiável e com boa leitura, deve-se utilizar no mínimo 0,8 mL de solvente na cubeta para poder reagir e obter um sinal de leitura satisfatório.

Com isso, foi preparado uma solução de 0,004% de indicador Verde de Malaquita diluído em água deionizada. Em seguida, utilizou-se o espectrofotômetro SHIMADZU UV-1800 para obter o valor do máximo de absorção do indicador Verde de Malaquita, como demonstrado a seguir na figura 10.

Figura 10 – Espectro de Absorção do Indicador Verde de Malaquita



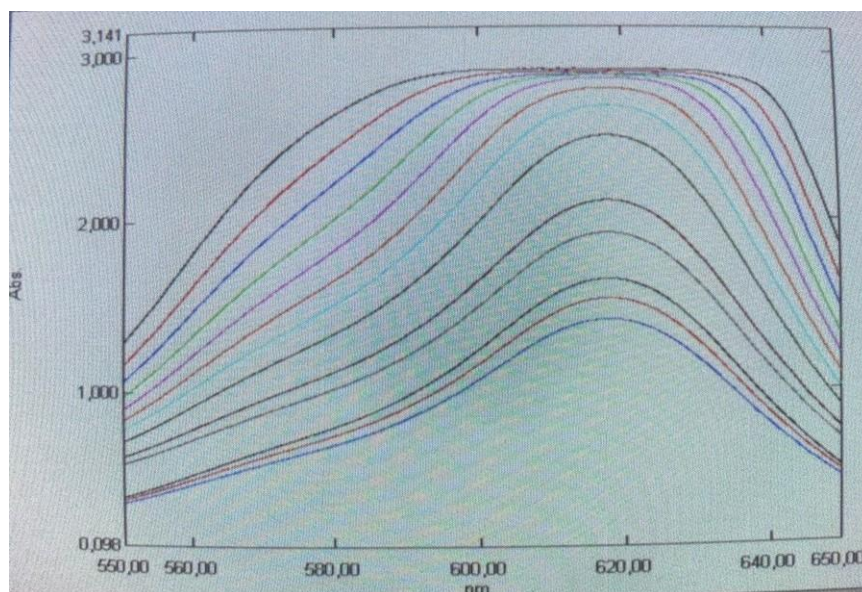
Fonte: Próprio Autor

Após a confirmação que a absorção máxima do indicador VM ocorre em 618 nm, foi iniciada a otimização dos parâmetros analíticos para posterior calibração do método.

Assim, sabendo a faixa de comprimento de onda de maior absorção do indicador VM, concluiu-se que a melhor cor do LED monocromático a ser utilizado seria o laranja, o qual emite luz com comprimento de onda entre 550 e 650 nm.

Para a montagem da solução utilizada no experimento, foram realizados alguns testes de modo a quantificar o descolorimento da solução em função do tempo, devido à alta reatividade e volatilidade. Assim, preparou-se uma solução de 0,004% de indicador VM em água contendo 2g de Acetato de Sódio ($C_2H_3NaO_2$), a qual será posteriormente borbulhada com o SO_2 fazendo a sua varredura no espectrofotômetro SHIMADZU UV-1800 em intervalos de 10 min, como demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Espectro de Absorção do Descoramento da Solução Padrão em Função do Tempo



Fonte: Próprio Autor

Assim, pode-se observar na figura 11 que a solução preparada, apresentou uma estabilidade em sua varredura somente a partir de aproximadamente 60 - 70 min, com a formação de um pico de absorção bem aparente e com maior precisão.

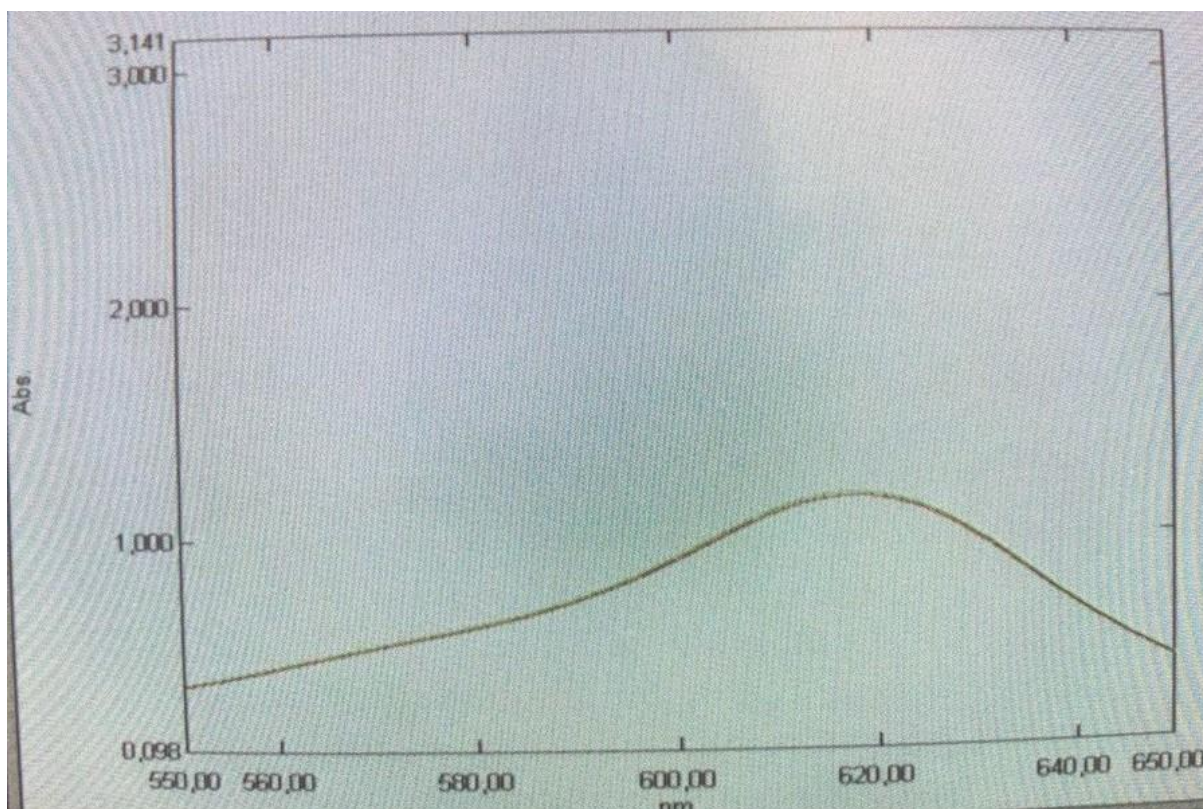
Para saber se o descoramento estava ocorrendo pela volatilização de compostos, repetiu-se o teste anterior em duplicatas, utilizando uma solução recém-preparada e em recipientes semelhantes, um aberto e outro fechado, pelo mesmo período, como demonstra a figura 12, confirmando que, independente se a solução preparada está aberta ou fechada, o seu descoramento é de mesma intensidade.

Figura 12 – Descoramento da Solução após 24h



Fonte: Próprio Autor

Figura 13 – Comparativo da Absorção da Solução Aberta X Fechada após 2h



Fonte: Próprio Autor

Tabela 1 – Comparativo da Absorvância da Solução Aberta e Fechada em Diferentes Tempos de Amostragem.

Recipiente	Absorvância (2h)	Absorvância (24h)	Média
Aberto	1,185	0,453	0,819
Fechado	1,170	0,448	0,809

Para a padronização e otimização da reação do dióxido de enxofre com o indicador VM, foram feitos experimentos em concentração fixa de SO_2 , emitido pelo tubo de permeação (95 ng/min) vs a vazão do gás de arraste por min (mL/min).

4.2 Fluxo de gás

A escolha da vazão do gás de arraste se deu conforme a sua capacidade de formação do borbulhamento uniforme do gás pela menor vazão de fluxo de gás possível, de modo que ocorra uma maior produção de bolhas contendo o dióxido de enxofre emitido pelo tubo de permeação (o qual se limita a 95 ng/min), e com o menor volume possível borbulhado, resultando assim em uma maior superfície de contato das bolhas contendo o SO_2 com a solução, otimizando a formação do produto de interesse.

Tabela 2 – Relação Entre Vazão do Gás de Arraste vs Borbulhamento

Vazão (mL/min)	Borbulhamento	Efetividade
< 5	Não há	Não há
5	Uniforme	Elevada
6	Uniforme	Elevada
7	Uniforme	Elevada
8	Uniforme Intenso	Parcial
9	Uniforme Intenso	Parcial
10	Não há	Não há
> 10	Não há	Não há

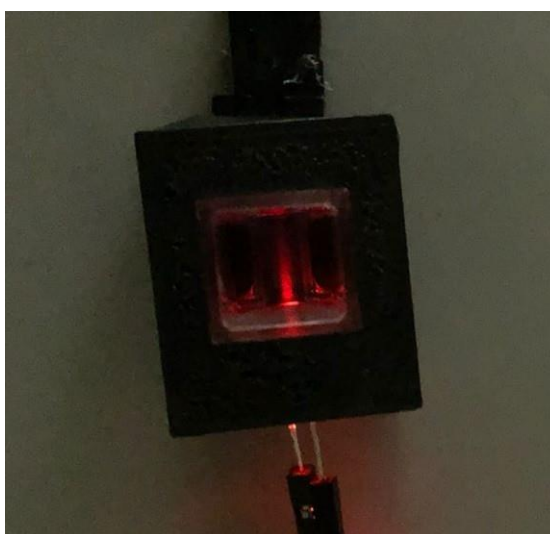
Assim, foi possível concluir que a vazão do gás de arraste que possui a melhor formação de bolhas efetivas e uniformes com a menor vazão possível, é em 5 mL/min.

4.3 Fotômetro

O projeto da microcâmara de reação acoplado a um fotômetro apresentou resultados satisfatórios, pois apresentou um alto alinhamento do Sensor TSL 2561 com o feixe de radiação emitido pelo LED.

Para a passagem de radiação eletromagnética, utilizou-se uma abertura de 0,5 mm, resultando assim em um feixe de luz linear e com baixa dispersão, como demonstrado a seguir na figura 14.

Figura 14 – Passagem de Luz Pela Abertura do Suporte



Fonte: Próprio Autor

4.4 Titulação

Com a solução padrão previamente preparada e estabilizada, foi feito o borbulhamento de dióxido de enxofre na solução utilizando um tubo de permeação de SO₂ em ambiente fechado e controlado. A liberação do gás pelo tubo de permeação é de 95 ng/min, como consta em sua ficha técnica.

O tempo de borbulhamento da amostra, variou de 1 - 10 min. Em seguida a variação da coloração da amostra foi medida utilizando o fotômetro SHIMADZU UV-1800. Em seguida utilizando o sensor desenvolvido neste projeto.

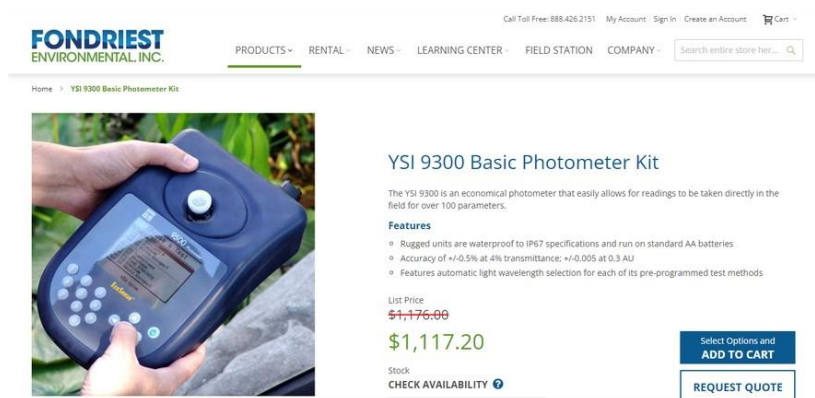
O fotômetro SHIMADZU UV-1800 apresentou bons resultados em sua leitura. O microtitulador apresentou indícios de uma titulação efetiva, mas as variações na absorvância da amostra feita pelo sensor apresentaram-se desprezíveis.

5 Estimativa de Preço

Quando comparado o preço de fotômetro profissional com sensor desenvolvido neste projeto, nota-se uma diferença elevada em seus preços. O fotômetro profissional apresenta uma sensibilidade elevada, e confiabilidade em seus resultados.

O sensor desenvolvido neste projeto, embora simples, apresenta praticidade em sua utilização, e conta com o auxílio de que a análise é realizada no momento da coleta da amostra. Diminuindo as possíveis interferências de seus resultados.

Figura 15 – Preço Kit Fotômetro YSI 9300 Basic Photometer



FONDRIEST ENVIRONMENTAL, INC.

Call Toll Free: 888.426.2151 | My Account | Sign In | Create an Account | Cart

PRODUCTS | RENTAL | NEWS | LEARNING CENTER | FIELD STATION | COMPANY | Search entire store here...

Home > YSI 9300 Basic Photometer Kit

YSI 9300 Basic Photometer Kit

The YSI 9300 is an economical photometer that easily allows for readings to be taken directly in the field for over 100 parameters.

Features

- Rugged units are waterproof to IP67 specifications and run on standard AA batteries.
- Accuracy of +/-0.5% at 4% transmittance; +/-0.005 at 0.3 AU
- Features automatic light wavelength selection for each of its pre-programmed test methods.

List Price: ~~\$1,176.00~~

\$1,117.20

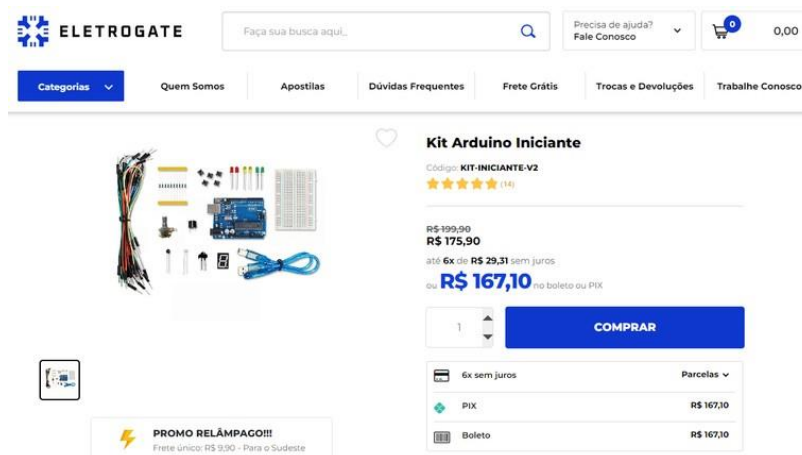
Stock: [CHECK AVAILABILITY](#)

[Select Options and ADD TO CART](#)

[REQUEST QUOTE](#)

(Fondriest Environmental, INC., 2022)

Figura 16 – Preço Kit Arduino



ELETROGATE

Faça sua busca aqui...

Precisa de ajuda? Fale Conosco

0,00

Categorias | Quem Somos | Apostilas | Dúvidas Frequentes | Frete Grátis | Trocas e Devoluções | Trabalhe Conosco

Kit Arduino Iniciante

Código: KIT-INICIANTE-V2

★★★★★ (14)

R\$ 199,90

R\$ 175,90

até 6x de R\$ 29,31 sem juros

R\$ 167,10 no boleto ou PIX

1 [COMPRAR](#)

6x sem juros | Parcelas

PIX | R\$ 167,10

Boleto | R\$ 167,10

PROMO RELÂMPAGO!!!
Frete único: R\$ 3,90 - Para o Sudeste

(Eletrogate, 2022)

6 Conclusão

Os resultados obtidos ao longo deste projeto, demonstram uma produção de borbulhamento e vazão do fluxo bem controlada. O sensor fotométrico apresentou uma sensibilidade elevada, conseguindo obter sinais de absorção de soluções de concentração 0,001 M.

Após os diversos testes realizados, foi possível notar que os resultados obtidos do fotômetro construído quando comparado com o Fotômetro profissional, apresentou uma diferença significativa. Este resultado embora seja consideravelmente alto, já era um resultado previsto, uma vez que o fotômetro desenvolvido neste projeto utilizou-se apenas de peças simples e de baixo custo.

Referências

- (1) BRASIL - CETESB. Ficha de Informação Toxicológica. **Dióxido de Enxofre - Ficha de Identificação**, São Paulo, p. 01 - 03, 12/2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/07/Dio%CC%81xido-de-enxofre.pdf>. Acesso em: 03/11/2022.
- (2) OGA, S. *et al.* **Fundamentos da Toxicologia**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2014. 685 p.
- (3) KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, n. 2, p. 362 - 367, 2 2008.
- (4) QUEENSLAND GOVERNMENT. **Sulfur Dioxide**. 2017. Disponível em: <https://www.qld.gov.au/environment/management/monitoring/air/air-pollution/pollutants>. Acesso em: 02/10/2022.
- (5) PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo, 2006. Acesso em: 17/07/2022.
- (6) MILLER, B. Sulfur oxides formation and control. In: MILLER, B. (Ed.). **Fossil Fuel Emissions Control Technologies**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2015. cap. 4, p. 197 - 242. Acesso em: 16/11/2022.
- (7) PAULO, U. de S. **Poluição Atmosférica e Chuva Ácida**. 2014. Disponível em: [http://www.usp.br/qambiental/chuva_acidafront.html#:~:text=O%20aumento%20da%20acidez%20na,%C3%A1gua%20de%20chuva\)%20formam%20%C3%A1cidos](http://www.usp.br/qambiental/chuva_acidafront.html#:~:text=O%20aumento%20da%20acidez%20na,%C3%A1gua%20de%20chuva)%20formam%20%C3%A1cidos): Acesso em: 06/10/2022.
- (8) WISCONSIN DEPARTMENT OF HEALTH SERVICES. **Prevention & Healthy Living - Sulfur Dioxide**. 15/06/2022. Disponível em: <https://www.dhs.wisconsin.gov/chemical/sulfurdioxide.htm#:~:text=Sulfur%20dioxide%2C%20SO2%2C%20is%20a;water%20to%20form%20sulfuric%20acid>: Acesso em: 07/11/2022.
- (9) FOOD AND DRUG ADMINISTRATION - FDA. **Environmental Decision Memo and EA Revision Sheet for Food Contact Notification No. 1819**. 10/2017. Disponível em: <https://www.fda.gov/food/environmental-decisions/environmental-decision-memo-and-ea-revision-sheet-food-contact-notification-no-1819>. Acesso em: 22/10/2022.
- (10) SKOOG, D. A. **Fundamentos de Química Analítica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Pioneira Thomson Learning, 2006.
- (11) UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Introdução à Titulação Ácido-Base**. 2016. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/nupis/files/2016/08/aula-2-introdu%ca7%ca3o-%ca0-titula%ca7%ca3o-e-titula%ca7%ca3o-%ca1cido-base.pdf>. Acesso em: 02/10/2022.
- (12) SCHULLE, A. K. *et al.* **Espectrofotometria - Conceitos e Aplicações**. 2017. Disponível em: https://www.ufrgs.br/leo/site_espec/bibliografia.html. Acesso em: 16/11/2022.
- (13) MCCLAIN, R. L. Construction of a Photometer as an Instructional Tool for Electronics and Instrumentation. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 5, p. 747 - 750, 1

2014. Acesso em: 10/06/2022.

(14) UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Introdução à Espectrofotometria**. 2020. Disponível em:

<https://www.dracena.unesp.br/Home/Graduacao/espectrofotometria.pdf>. Acesso em: 24/11/2022.

(15) ACELERA 3D. **Guia de Erros Comuns de Impressão 3D**. 05/2020. Disponível em: <https://acelera3d.com/erros-3d/>. Acesso em: 13/06/2022.

(16) ARDUINO. **What is Arduino?** 02/2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 27/10/2022.

(17) ARDUINO. **analogRead()**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/reference/pt/language/functions/analog-io/analogread/>. Acesso em: 19/07/2022.

(18) ADAFRUIT. **Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor Breakout**. 2015. Disponível em: <https://www.adafruit.com/product/439>. Acesso em: 02/10/2022.

(19) TAOS TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS. **TSL2561 Datasheet (PDF) 1 Page - TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS**. 2007. Disponível em: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/203054/TAOS/TSL2561/96/1/TSL2561.html>. Acesso em: 22/11/2022.

(20) B.W.BUDESINSKY. Determination of sulfur dioxide in air. **Microchemical Journal**, v. 22, n. 1, p. 55 – 59, 3 1977.

(21) VOGEL, A. I. **Análise Química Quantitativa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. ISBN8521613113.

(22) AFKHAMI, A. *et al.* Simultaneous Kinetic Spectrophotometric Determination of Sulfite and Sulfide Using Partial Least Squares (PLS) Regression. **Bull. Korean Chem. Soc.**, Tehran, v. 27, n. 6, p. 863 – 868, 01 2006. Acesso em: 01/12/2022.

Apêndices

Apêndice A - Programação do Sensor TSL2561

```
//Programa: Medidor de Luminosidade Lux com sensor TSL2561
//Autor: Arduino e Cia
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_TSL2561_U.h>
#include <U8glib.h>
//Definicoes do display Oled
U8GLIB_SSD1306_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NO_ACK);
//Definicoes do sensor TSL2561
Adafruit_TSL2561_Unified tsl=Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT,12345);
int valor = 0;
String str;
int tamanho;
void draw()
{
//Comandos graficos para o display devem ser colocados aqui
u8g.drawRFrame(0, 16, 128, 48, 4);
u8g.drawRFrame(0, 0, 128, 16, 4);
u8g.setFont(u8g_font_8x13B);
u8g.setColorIndex(0);
u8g.setColorIndex(1);
u8g.drawStr( 30, 13, "Lux Meter");
u8g.setFont(u8g_font_fur25);
str = String(valor);
tamanho = str.length();
u8g.setPrintPos(64-(tamanho*10), 53);
u8g.print(valor);
}
void displaySensorDetails(void)
{
//Informacoes basicas do sensor TSL2561
sensor_t sensor;
tsl.getSensor(&sensor); Serial.println("—————
—————"); Serial.print ("Sensor: ");
Serial.println(sensor.name);
Serial.print ("Driver Ver: "); Serial.println(sensor.version);
Serial.print ("Unique ID: "); Serial.println(sensor.sensor_id);
```

```
Serial.print ("Max Value: "); Serial.print(sensor.max_value);
Serial.println(" lux");
Serial.print ("Min Value: "); Serial.print(sensor.min_value);
Serial.println(" lux");
Serial.print ("Resolution: "); Serial.print(sensor.resolution);
Serial.println(" lux"); Serial.println("—————
"); Serial.println("");
delay(500);
}
/*****/
/*
Configures the gain and integration time for the TSL2561
*/
/*****/
void configureSensor(void)
{
/* You can also manually set the gain or enable auto-gain support */
/* No gain. use in bright light to avoid sensor saturation */
// tsl.setGain(TSL2561_GAIN_1X);
/* 16x gain. use in low light to boost sensitivity */
// tsl.setGain(TSL2561_GAIN_16X);
/* Auto-gain. switches automatically between 1x and 16x */
tsl.enableAutoRange(true);
/* Changing the integration time gives you better
sensor resolution (402ms = 16-bit data) */
/* fast but low resolution */
tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS);
/* medium resolution and speed */
// tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_101MS);
/* 16-bit data but slowest conversions */
// tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_402MS);
/* Update these values depending on what you've set above! */
Serial.println("—————");
Serial.print ("Gain: "); Serial.println("Auto");
Serial.print ("Timing: "); Serial.println("13 ms");
Serial.println("—————");
}
void setup(void)
```

```
{
//Define a porta do led como saida
pinMode(13, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
Serial.println("Light Sensor Test"); Serial.println("");
//Inicializa o sensor TSL
if (!tsl.begin())
{
Serial.print("TSL2561 nao detectado,verifique a conexao e o endereco I2C");
while (1);
}
//Exibe as informacoes basicas do sensor TSL
displaySensorDetails();
//Configura o sensor TSL
configureSensor();
Serial.println("");
if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_R3G3B2 ) {
u8g.setColorIndex(255); // white
}
else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_GRAY2BIT ) {
u8g.setColorIndex(3); // max intensity
}
else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_BW ) {
u8g.setColorIndex(1); // pixel on
}
else if ( u8g.getMode() == U8G_MODE_HICOLOR ) {
u8g.setHiColorByRGB(255, 255, 255);
}
}
void loop(void)
{
//Acende o led
digitalWrite(13, HIGH);
Calcula_Lux();
//Chama a rotina de desenho na tela
u8g.firstPage();
do
{
draw();
```

```
}
while ( u8g.nextPage() );
delay(1000);
}
void Calcula_Lux()
{
sensors_event_t event;
tsl.getEvent(&event);
//Mostra os resultados no serial monitor
//Intensidade da Luz medida em Lux
if (event.light)
{
valor = event.light;
Serial.print(event.light); Serial.println(" lux");
}
else
{
Serial.println("Sensor overload");
}
}
delay(250);
}
```