

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA

MATHEUS RANGEL DOS SANTOS

**CRIAÇÃO DE UM POLARÍMETRO UTILIZANDO
TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D**

Rio de Janeiro

2022

MATHEUS RANGEL DOS SANTOS

**CRIAÇÃO DE UM POLARÍMETRO UTILIZANDO
TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Química da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como requisito à
obtenção do grau de bacharel em Química.

Orientador: Ricardo Cunha Michel.

Rio de Janeiro

2022

CIP - Catalogação na Publicação

dos Santos, Matheus Rangel
dD722M Criação de um polarímetro utilizando tecnologia de
atheus impressão 3D / Matheus Rangel dos Santos. -- Rio
Range de Janeiro, 2022.
lc 43 f.

Orientador: Ricardo Cunha Michel.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
de Química, Bacharel em Química, 2022.

1. Instrumentação química. 2. equipamentos "open
source". 3. polarímetro. 4. enantiômetros. 5.
impressão 3D. I. Cunha Michel, Ricardo, orient.
II. Título.

MATHEUS RANGEL DOS SANTOS

**CRIAÇÃO DE UM POLARÍMETRO UTILIZANDO
A TECNOLOGIA DE IMPRESSÃO 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Química da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como requisito à
obtenção do grau de bacharel em Química.

Rio de Janeiro, 08 de março de 2022.

Prof. Dr. Ricardo Cunha Michel
Orientador

Prof. Dra. Ana Catarina de Oliveira Gomes

Prof. Dra. Daniella Lopez Vale

Dedico este trabalho a minha família,
que sempre se dedicou a mim e que tanto admiro,
dedico o resultado do esforço realizado ao longo deste percurso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Márcia e Antônio, e meu irmão Felipe, que sempre estiveram comigo por toda minha jornada, e que se não fosse por eles não seria possível a conclusão dessa etapa da minha vida, agradeço também a Deus por todas as oportunidades que me deu para chegar onde cheguei.

Aos meus amigos que fiz durante a trajetória, que foram de grande importância para me ajudar a enfrentar diversos problemas e dificuldades que apareceram, fico feliz em saber que muitos deles levarei para a vida, um agradecimento especial ao meu amigo Thomaz, um amigo com grande conhecimento e grande coração, me ajudando diversas vezes em momentos de necessidade.

A minha amiga e companheira Natália, que me ajudou a viver uma vida mais feliz, que enfrentou dificuldades comigo e que posso contar sempre.

A Eliane D'Elia e a equipe do LABEE (Laboratório de Eletroquímica e Eletroanalítica) onde tive minha primeira experiência profissional em laboratório e adquiri grande conhecimento e novos amigos.

Ao Ricardo Pollery e à equipe da UMAA (Unidade multiusuária de análise ambiental) onde tive oportunidade de aprender novas técnicas analíticas e obter grande experiência.

Ao meu orientador Ricardo Michel, que tenho grande admiração como profissional e que me deu oportunidade de realizar este trabalho ao qual tenho orgulho.

A banca avaliadora deste trabalho, por todas as contribuições.

“A felicidade está na jornada e não no destino”
(PODER ALÉM DA VIDA, 2006).

RESUMO

RANGEL, Matheus dos Santos. Criação de um polarímetro utilizando a tecnologia de impressão 3D. Trabalho de conclusão de curso – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2021.

Neste trabalho, defendemos que as habilidades adquiridas no processo de elaboração de um equipamento de laboratório sejam fundamentais na formação de um químico. Isso porque a criação de equipamentos possibilita o conhecimento de diversas áreas, fazendo com que o aluno compreenda o conteúdo para além dos resultados obtidos. Por este motivo é interessante que o aluno participe da criação de equipamentos de laboratório, pois assim durante o processo de criação o aluno vai adquirindo o conhecimento necessário sobre o equipamento, para que no final entenda como foi gerado o resultado obtido. Além disso, torna-se possível criar um equipamento funcional e mais didático, facilitando o entendimento de como o equipamento funciona para outros alunos que não participaram da criação do mesmo. Dentre outras coisas, o estudante estará também desenvolvendo tecnologia, que é importante para a formação de qualquer profissional. Uma tecnologia muito útil para a criação de equipamentos é a impressão 3D, pois é fácil de ser dominada, gera peças precisas, de baixo custo e pode gerar peças variadas o suficiente para a criação de diversos equipamentos. A partir do equipamento criado, analisou-se amostras de sacarose e frutose comerciais. Observou-se que o equipamento criado é eficiente para os objetivos aqui descritos. Os resultados obtidos concordam com os valores de concentração das amostras preparados e com os informados pelo fabricante, dentro de uma margem de erro de 4% ou menor. Além disso, o polarímetro criado é simples, com peças fáceis de serem obtidas e fácil de ter seu funcionamento entendido.

Palavras-chave: Instrumentação química; equipamentos "open-source"; polarímetro; enantiômetros; impressão 3D.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Luz polarizada.	12
Figura 2 - Exemplo de uma molécula e seu enantiômero.	14
Figura 3 - Sacarose.	14
Figura 4 - Frutose.	15
Figura 5 - Esquema de um polarímetro.	16
Figura 6 - Modelo 3D da caixa de bateria.	21
Figura 7 - Esquema elétrico da caixa de bateria.	21
Figura 8 - Modelo 3D do holofote.	22
Figura 9 - Chapa de acrílico marcada para corte.	23
Figura 10 - Película polarizadora marcada para corte.	23
Figura 11 - Filtro polarizador fixo.	24
Figura 12 - Montagem do holofote.	25
Figura 13 - Fonte de luz do polarímetro.	25
Figura 14 - Modelo 3D da cubeta e suporte de cubeta.	26
Figura 15 - Montagem disco polarizador móvel.	27
Figura 16 - Suporte do disco móvel.	27
Figura 17 - Analisador.	28
Figura 18 - Modelo 3D do polarímetro completo.	29
Figura 19 - Polarímetro completo impresso.	29
Figura 20 - Exemplos com luz monocromática.	30
Figura 21 - Cor azul da cubeta em ângulo menor que alfa, sem ampliação.	31
Figura 22 - Cor azul da cubeta em ângulo menor que alfa, com ampliação.	31
Figura 23 - Cor laranja da cubeta em ângulo maior que alfa, sem ampliação.	32
Figura 24 - Cor laranja da cubeta em ângulo maior que alfa, com ampliação.	32
Figura 25 - Cor roxa da cubeta em ângulo alfa, sem ampliação.	33
Figura 26 - Cor roxa da cubeta em ângulo alfa, com ampliação.	33
Figura 27 - Escala de cores.	34
Figura 28 - Luz policromática sofrendo desvio.	35
Figura 29 - Bloqueio do filtro na posição 1.	35
Figura 30 - Bloqueio do filtro na posição 2.	36
Tabela 1 - Concentração das soluções.	19
Tabela 2 - Concentração de sacarose nos refrigerantes segundo o fabricante.	19
Tabela 3 - Resultados das análises da solução A e B e sua média total.	35
Tabela 4 - Resultados das análises da solução C e D e sua média total.	36
Tabela 5 - Resultados das análises da solução E e F e sua média total.	36
Tabela 6 - Resultados das análises das amostras de refrigerantes.	36
Tabela 7 - Resultados finais das soluções de sacarose.	37
Tabela 8 - Resultados finais das soluções de frutose.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 A LUZ POLARIZADA	12
2.2 ISOMERIA ÓPTICA	133
2.3 POLARÍMETRO	15
3 OBJETIVO	16
3.1 OBJETIVO GERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	16
4.1 PROCESSO CRIATIVO DO POLARÍMETRO	17
4.1.1 Materiais utilizados na construção do polarímetro	17
4.2 TESTE DO POLARÍMETRO - Preparo das soluções	18
4.2.1 Sacarose	18
4.2.2 Frutose	18
4.2.3 Refrigerantes	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 MODELAGEM 3D DO POLARÍMETRO	20
5.1.1 Caixa de bateria	20
5.1.2 Holofote de luz polarizada	22
5.1.3 Cubeta e suporte de cubeta	25
5.1.4 Disco polarizador móvel e suporte do disco	26
5.2 TESTE DO POLARÍMETRO - Resultados obtidos	29
5.2.1 EFEITO DA LUZ POLICROMÁTICA	29
5.2.2 MEDIDAS DE CONCENTRAÇÃO	35
5.3 RELATO DE CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO POLARÍMETRO	37
6 CONCLUSÃO	39
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A química analítica é uma área dentro da química que tem como objetivo analisar amostras e obter informações sobre a mesma. A partir disso, é possível identificar a composição de um analito, saber se possui algum composto específico, identificar a quantidade deste composto e tornar possível a separação dos componentes (LOWINSOHN, 2016).

Para a obtenção dessas informações, diversas técnicas podem ser utilizadas (JUNIOR, 2010). Dentre elas, técnicas que fazem uso de aparelhos para realizar as medidas, observações e análises. O conhecimento acerca do manuseio destas ferramentas e técnicas são fundamentais para que um químico possa fazer uma análise adequada. Isso porque, dessa maneira, o procedimento é realizado de forma clara, o que gera resultados melhores, evita erros e dá mais autonomia para que o químico possa resolver possíveis problemas futuros.

O aprendizado sobre a utilização dos equipamentos e o conhecimento sobre a técnica a ser utilizada podem ser adquiridos de diversas maneiras, as principais são: a partir da teoria, buscando-se materiais de apoio, e a partir da prática. Diversos autores (SANTOS *et al.*, 2019; ARAUJO *et al.*, 2018; GIORDAN, 1999) defendem a união entre teoria e prática para que se possa aprender em sua totalidade. Camara (2021), por exemplo, defende a experimentação como principal forma de se facilitar o entendimento sobre o funcionamento de determinada técnica.

Seguindo essa linha, além de estudar e utilizar determinado equipamento, o químico pode também atuar na construção do próprio equipamento. Assim, é possível desenvolver um conhecimento sofisticado sobre a técnica utilizada, as etapas de análise e a compreensão sobre o que é fundamental para o equipamento funcionar ou não. Além disso, implica em adquirir conhecimento em áreas correlatas. Nesse sentido, a construção de equipamentos de laboratório, na formação acadêmica de um químico surge como uma possível facilitadora da aprendizagem de técnicas e conteúdos.

Existem diversas formas de se criar um equipamento e diversas tecnologias possíveis de serem usadas e é importante que, durante o processo de criação, o estudante de química construa certo domínio sobre a tecnologia de fabricação. Dentre as tecnologias possíveis existe a impressão 3D, que possui diversas vantagens, como: ser de fácil acesso, pode ser utilizada em inúmeros projetos para criação de demais equipamentos, gera objetos de boa qualidade e de baixo custo. Possui também grande variedade de matéria prima que podem ser utilizados para

vários fins, como obter resistência mecânica ou resistência química (SANTANA *et al.*, 2018), sendo assim, uma excelente escolha de tecnologia de fabricação para o projeto.

Para a finalidade de aprendizado e treinamento, é interessante que o equipamento que venha a ser criado seja um equipamento simples, que seja possível de ser fabricado com a tecnologia proposta, um equipamento fácil de ser manuseado, que gere resultados simples e cujo funcionamento seja de fácil compreensão. Um equipamento que atende esses requisitos é o polarímetro, que é comumente encontrado em diversos laboratórios e utiliza o fenômeno da luz polarizada, sendo de grande utilidade para diversas análises e permite explorar alguns conceitos de estereoquímica e isomeria óptica.

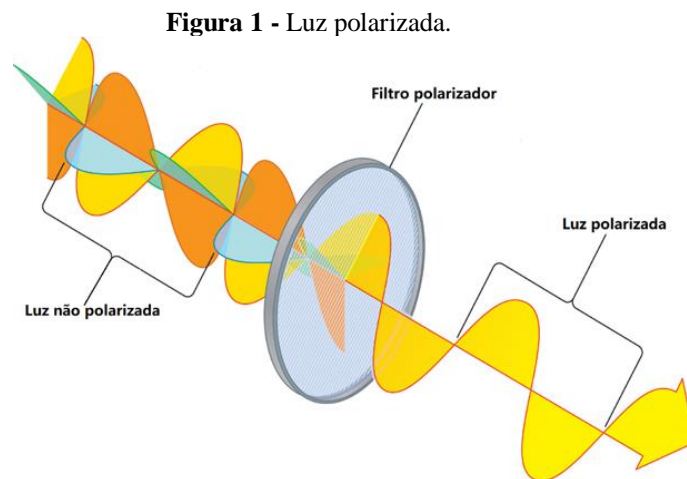
A participação na criação de equipamento de laboratório pode gerar o interesse sobre o tema do equipamento. Esse interesse é fundamental para os estudantes de química, pois facilita o entendimento sobre o conteúdo a ser trabalhado. Nesse sentido, o presente trabalho busca apresentar um percurso completo de desenvolvimento de um equipamento de laboratório, desde sua concepção até seus testes finais. Este percurso alia teoria (ROCHA, 2015) e prática (SANTOS *et al.*, 2019), para um aprendizado mais efetivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A LUZ POLARIZADA

A luz é um tipo de onda eletromagnética, composta por um campo elétrico (E) e um campo magnético (B), onde um campo é perpendicular ao outro, e ambos são perpendiculares à direção de propagação da onda (HECHT, 2002).

A luz pode ser classificada como polarizada quando a mesma possui uma orientação preferencial do campo elétrico no espaço, diferente da luz não polarizada a qual não possui orientação preferencial (HECHT, 2002), como pode-se observar na Figura 1.



Fonte: Adaptado de Britannica (2011).

A luz pode ser polarizada por refração, reflexão ou absorção. A forma de polarização normalmente presente em polarizadores de filme plástico (filtro polarizador) é a de absorção, onde seu material é composto por moléculas que possuem uma orientação preferencial. A radiação eletromagnética ao incidir sobre esse material é absorvida em intensidade proporcional ao alinhamento entre o campo elétrico e as moléculas poliméricas do polarizador. A radiação perpendicular a essas moléculas sofre mínima absorção ao passar pelo filtro, sendo essa a orientação observada após a passagem da luz pelo filtro polarizador (ZILIO, 2009).

Com a luz polarizada é possível observar algumas características estruturais das moléculas. Por exemplo, é possível observar a presença do centro assimétrico de algumas substâncias, pois quando a luz polarizada passa através destas substâncias observa-se um desvio do plano da luz causado pelo centro assimétrico (HECHT, 2002).

2.2 ISOMERIA ÓPTICA

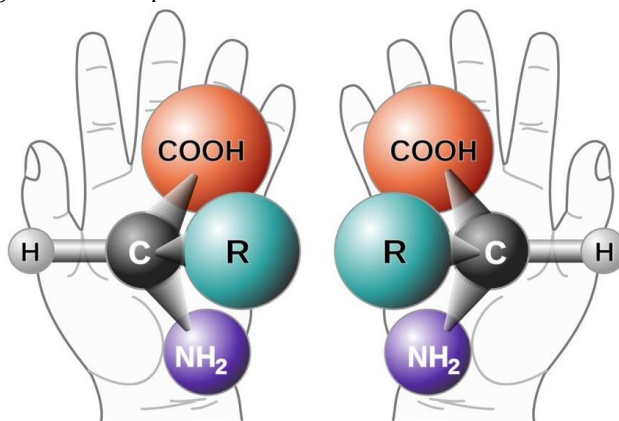
Uma molécula é composta por diversos átomos e a estrutura em que esses átomos se encontram diz muito sobre a molécula. Um caso de interesse é quando a molécula contém um centro quiral.

Este centro quiral pode ser um átomo de carbono, também chamado de carbono assimétrico, que é quando o carbono possui 4 ligantes diferentes, dando a molécula uma propriedade óptica, a de rotacionar o plano da luz polarizada - essas moléculas são chamadas de "opticamente ativas" (HECHT, 2002).

A isomeria consiste em moléculas que possuem a mesma fórmula molecular, mas possuem propriedades distintas, dentre essas propriedades é possível citar sabores e odores diferentes, e até mesmo efeito e efetividade distintas em medicamentos. Outra propriedade distinta é a atividade óptica: as moléculas possuem a mesma fórmula, rotacionam o plano da luz com a mesma intensidade, mas em sentidos opostos. Essas moléculas são chamadas de enantiômeros (CAREY, 2011).

O enantiômero de uma molécula possui a mesma forma, porém, invertida como um reflexo no espelho, como mostrado na Figura 2. Uma molécula e seu enantiômero possuem a mesma capacidade de desvio da luz polarizada, porém giram o plano da luz em sentidos opostos, sendo uma levógira e outra dextrógira. Quando se possui uma mistura em partes iguais dos enantiômeros não é observado nenhum desvio da luz, pois o desvio causado por uma molécula é anulado pelo desvio causado pela outra. Essa mistura é chamada de mistura racêmica (CAREY, 2011).

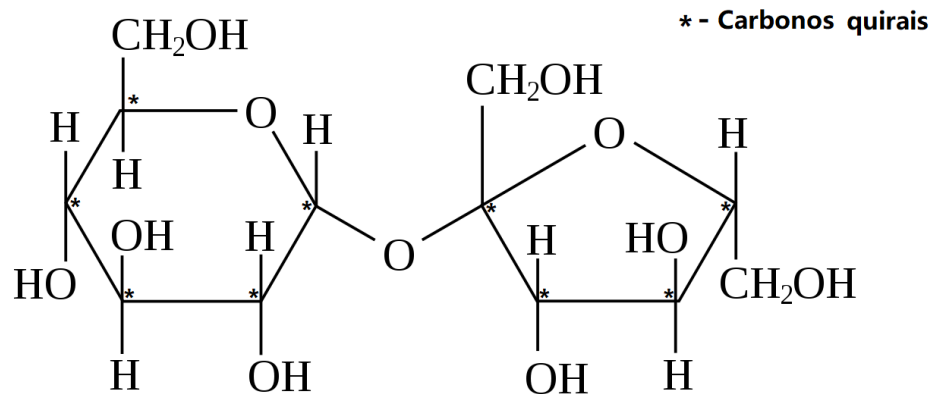
Figura 2 - Exemplo de uma molécula e seu enantiômero.



Fonte: Commons (2011).

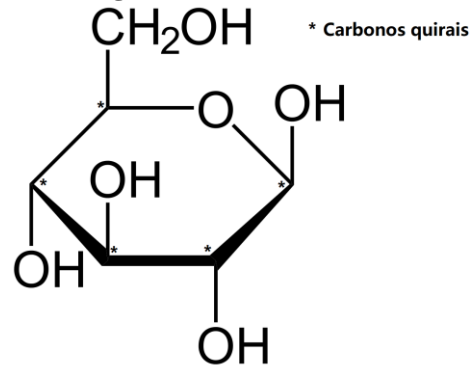
Dentre as moléculas que possuem atividade óptica encontram-se alguns tipos de açúcares, alguns sendo dextrógiros e outros levógiros. Por exemplo a (D)sacarose (Figura 3) e a (L)frutose (Figura 4), que são açúcares comuns usados na culinária, ambos são opticamente ativos pois possuem carbono assimétrico (BARBOSA, 2011).

Figura 3 - Sacarose.



Fonte: Adaptado de Commons (2006).

Figura 4 - Frutose.



Fonte: Adaptado de Commons (2007).

2.3 POLARÍMETRO

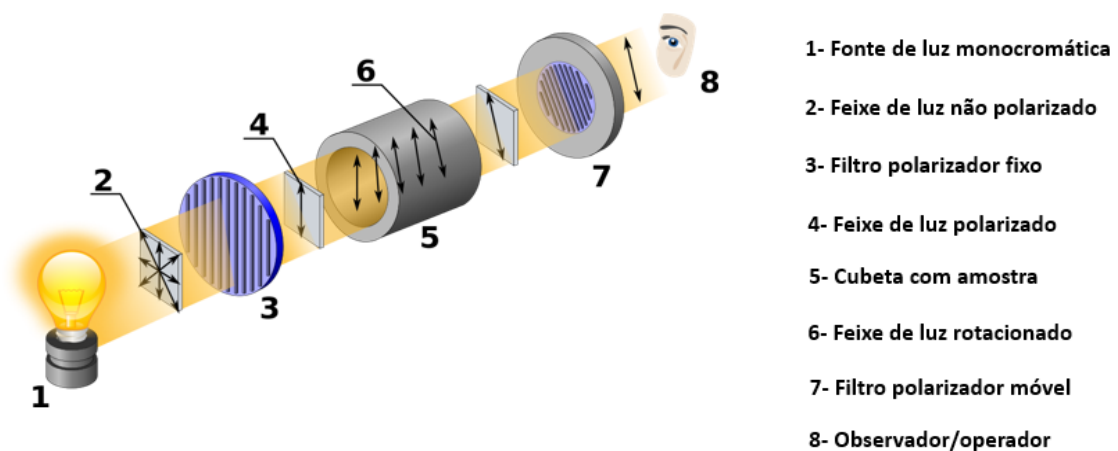
O polarímetro manual é um equipamento de análise comum em alguns laboratórios. Trata-se de um equipamento que utiliza uma fonte de luz monocromática e filtros polarizadores, e é utilizado para medir a rotação da luz polarizada em substâncias opticamente ativas (BARBOSA, 2011).

O polarímetro possui algumas partes principais, dentre elas uma fonte de luz monocromática, um filtro polarizador, uma cubeta, um filtro polarizador móvel (também

chamado de 'analisador'). A lâmpada de sódio é normalmente utilizada como fonte de luz por ter uma banda bem definida (589 nm), o filtro polarizador é responsável por tornar a luz polarizada, a cubeta é onde se coloca a amostra que será analisada e o segundo filtro polarizador é móvel (rotaciona) para medir o ângulo de rotação da amostra (BARBOSA, 2011). A rotação da amostra e a detecção do ângulo de rotação são, geralmente, realizadas pelo próprio usuário.

O esquema de um polarímetro é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Esquema de um polarímetro.



Fonte: Adaptado de COMMONS (2013).

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um polarímetro didático e 'open source' impresso em 3D.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- [1] Gerar um equipamento de fácil compreensão de seu funcionamento;
- [2] Testar o equipamento com soluções de sacarose e frutose;
- [3] Testar o equipamento com sacarose em refrigerante comercial;
- [4] Avaliar os efeitos da utilização de uma fonte de luz policromática.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após ser definido qual equipamento criar e qual tecnologia utilizar, iniciou-se o planejamento do design do polarímetro e definiu-se que o PLA seria o material utilizado para

impressão, pois trata-se de um material mais fácil de ser utilizado, e que pode ser usado em diversos modelos de impressoras.

4.1 DEFININDO ESPECIFICAÇÕES PARA O POLARÍMETRO

O projeto do polarímetro foi pensado da seguinte forma:

- [1] Criar um aparelho portátil, ou seja, com dimensões totais pequenas o suficiente para ser transportado com facilidade;
- [2] Dividir o aparelho em 3 partes principais (fonte, cubeta, analisador) e que essas partes fossem acopláveis entre si;
- [3] Criar um aparelho visualmente simples de entender, com as partes abertas, facilitando o entendimento;
- [4] Criar modelos 3D fáceis de serem impressos e montados, com design simples e evitando o uso de suportes.
- [5] Obter um polarímetro funcional, capaz de medir com certa exatidão e fácil de ser operado.

Com esses fatores em mente, foi pensado em quais partes seriam compradas e quais seriam impressas, sendo necessário utilizar alguns materiais eletrônicos (LED, interruptor...) e materiais diversos (chapa acrílico, película polarizadora...). Foram pensados vários *designs* de polarímetros, sendo desenhados em papel para melhor visualização, até chegar em um modelo final, que seria modelado, impresso e montado.

4.1.1 Materiais utilizados na construção do polarímetro

- Impressora 3D FDM (Ender 3);
- Filamento (PLA) para impressão 3D;
- LED branco frio (6000K) de 3V e 3W com dissipador de calor;
- 1 metro de fio de 0,14 mm²;
- Ferro de solda;
- Solda de estanho;

- Interruptor (modelo KCD11);
- Parafusos e porcas M3;
- Bateria de lítio (18650);
- Hastes de madeira (palito de churrasco);
- Chapa de acrílico de 3mm;
- Película polarizadora adesiva;
- Papel manteiga;
- Tinta acrílica spray (branco fosco, preto fosco, primer cinza);
- Supercola;
- Agulha;
- Círculo milimetrado impresso em folha adesiva;
- Sacarose (União 1 kg);
- Frutose (lowçúcar, 500g);
- Refrigerante de limão (Sprite 200 ml e Antarctica 200 ml) e guaraná (Antarctica 200 ml).

4.2 TESTE DO POLARÍMETRO - Preparo das soluções

Para as seguintes soluções foram utilizados uma balança eletrônica de 1 casa decimal de grama de precisão, água filtrada, açúcar cristal comercial (União) e frutose comercial (Lowçucar).

4.2.1 Sacarose

Foram preparadas 2 soluções de sacarose utilizando açúcar cristal comercial. Em cada solução foram pesados 50,0g de açúcar cristal, que foram solubilizados em 200,0 g de água filtrada, gerando assim as soluções A e B de sacarose.

4.2.2 Frutose

Foram preparadas 4 soluções (C, D, E, F) de frutose utilizando frutose comercial. Para a solução C foram pesados 100,0 g de frutose, que foram solubilizados em 200,0 g de água filtrada, repetiu-se o mesmo procedimento para a solução D. Para as soluções E e F foram pesados 50,0 g de frutose, que foram solubilizados em 200,0 g de água filtrada.

A Tabela 1 apresenta a concentração aproximada preparada para as amostras de A a F:

Tabela 1 - Concentração das soluções.

Solução	Concentração aproximada (g/L)
A(sacarose)	250
B(sacarose)	250
C(frutose)	500
D(frutose)	500
E(frutose)	250
F(frutose)	250

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Refrigerantes

Foram analisados 3 refrigerantes (RF1, RF2, RF3) no polarímetro, não houve necessidade de diluição dos refrigerantes, porém os mesmos foram agitados em um copo para a remoção do gás carbônico dissolvido, evitando assim bolhas na cubeta. Utilizou-se os seguintes refrigerantes para análise, refrigerante 1 (RF1) sabor limão da marca Sprite, refrigerante 2 (RF2) sabor soda limonada da marca Antarctica e refrigerante 3 (RF3) sabor guaraná da marca Antarctica.

A Tabela 2 apresenta a concentração de sacarose fornecida pelo fabricante na embalagem dos refrigerantes.

Tabela 2 - Concentração de sacarose nos refrigerantes segundo o fabricante.

Refrigerante	Concentração de sacarose (g/L)
RF1 (limão/sprite)	100,0
RF2 (limão/soda)	49,5
RF3 (guaraná/antártica)	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma alíquota foi retirada de cada tipo de refrigerante, assim como de cada solução produzida, cada alíquota foi analisada 5 vezes no polarímetro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as análises no polarímetro, assim como a fabricação do mesmo, foram realizadas em casa, devido a pandemia (coronavírus), por isso foi pensado em materiais de fácil acesso e na utilização de equipamentos disponíveis, como balanças de uso doméstico.

5.1 MODELAGEM 3D DO POLARÍMETRO

Para modelagem do polarímetro utilizou-se o software CAD online Tinkercad¹ (www.tinkercad.com). Nele é possível modelar peças através de adição e subtração de formas pré-estabelecidas, gerando assim formas novas. O polarímetro modelado pode ser dividido em 4 partes principais: caixa de bateria, holofote de luz polarizada, cubeta e disco polarizador móvel (analisador).

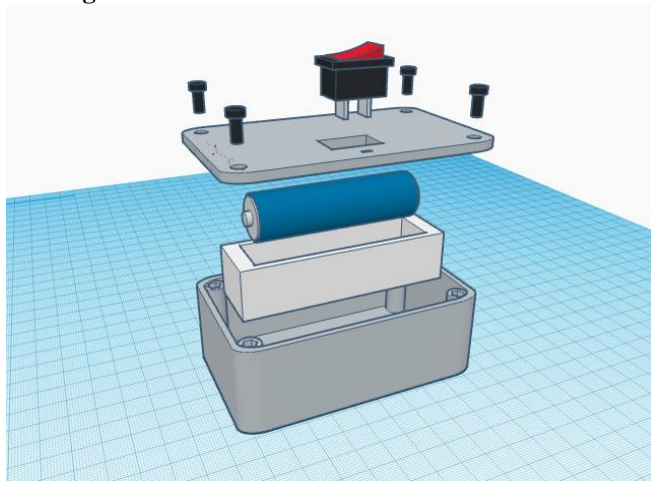
Todos os arquivos das peças modeladas foram processados no programa *Ultimaker Cura*, responsável pelo fatiamento dos arquivos. As peças foram impressas utilizando o PLA (3D prime) como matéria prima, em uma temperatura de 200°C, com altura de camada de 0.16mm, e velocidade de 50mm/s utilizando a função “*brim*” para aderência da peça a mesa.

5.1.1 Caixa de bateria

A caixa foi modelada para portar uma bateria de íons de lítio de 3,7 V modelo 18650. Esta bateria fornece energia suficiente para alimentar o LED usado na fonte luminosa, esta bateria foi escolhida pois fornece tensão e potência maior que pilhas AAA, e por ser recarregável, não tendo necessidade de comprar pilhas novas quando as mesmas descarregarem. A caixa também possui um furo para um interruptor gangorra (KCD11), utilizado para ligar e desligar a fonte de luz, e 4 furos para parafusos M3 e suas respectivas porcas, para fechamento da caixa, como mostrado na Figura 6.

¹ Disponível em: <https://www.tinkercad.com/>

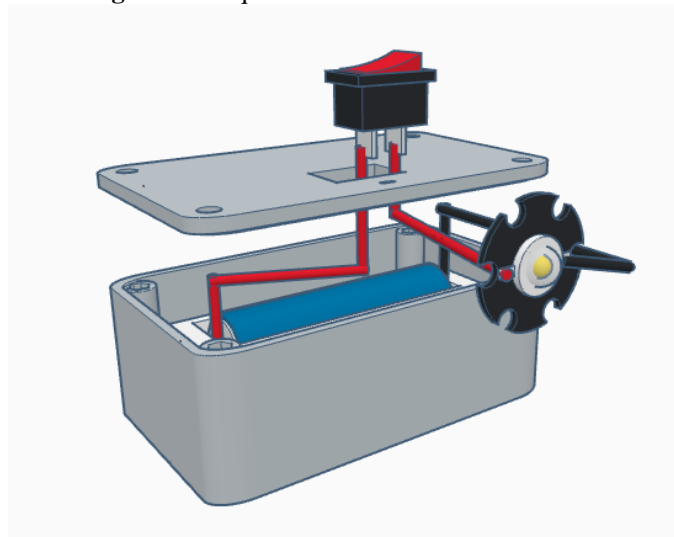
Figura 6 - Modelo 3D da caixa de bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O objeto foi dividido em 3 partes que foram impressas em 3D: base, tampa e suporte para bateria. A base e tampa foram pintados de cinza para fins estéticos, o suporte da bateria foi colado com supercola no fundo da base. A bateria foi então inserida no suporte e a conexão elétrica foi feita entre os terminais da bateria, interruptor e LED, como mostrado na Figura 7. As linhas vermelhas correspondem ao polo positivo da bateria, enquanto as linhas pretas correspondem ao polo negativo.

Figura 7 - Esquema elétrico da caixa de bateria.



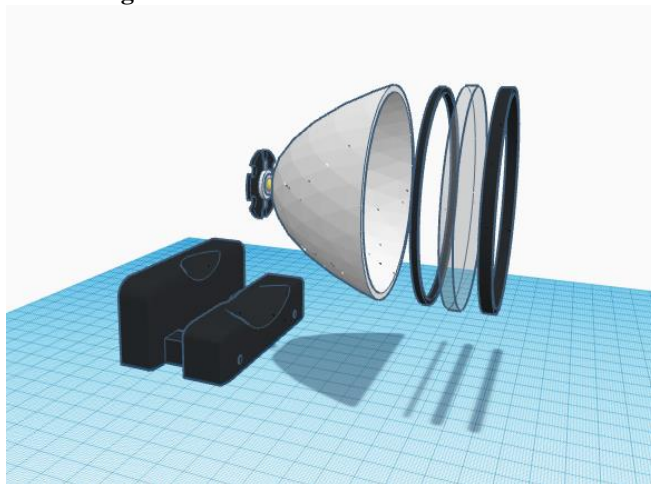
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Foi adicionada também uma chapa de alumínio atrás do Led (Figura 8), para dissipar o calor evitando superaquecimento. O aquecimento do Led não causou danos aparentes ao filtro polarizador.

5.1.2 Holofote de luz polarizada

O holofote foi modelado para receber em uma extremidade um LED branco 3W como fonte de luz, e na outra, um disco de acrílico com uma película polarizadora, utilizado para polarizar a luz produzida pelo led.

Figura 8 - Modelo 3D do holofote.

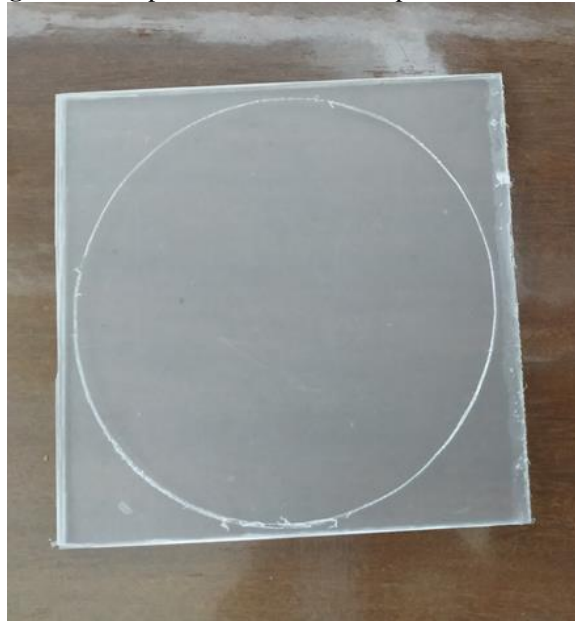


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O holofote foi modelado em 4 partes: suporte do holofote, holofote, anel inferior e anel superior do filtro. Os anéis e o suporte foram pintados de preto para fins estéticos e o holofote foi pintado de branco para poder distribuir a luz do led de forma mais uniforme.

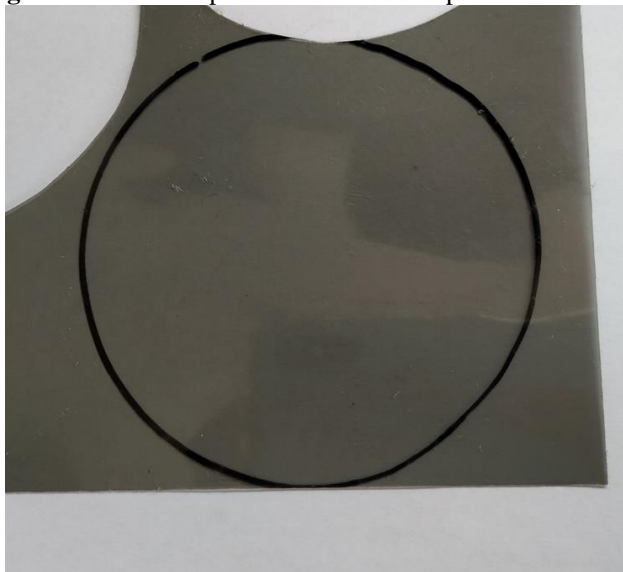
O filtro polarizador foi construído por meio da colagem da película polarizadora sobre a chapa de acrílico. Para isto, foi cortado um disco de 8 cm de diâmetro da chapa de acrílico (Figura 9) e um disco de mesmo tamanho da película (Figura 10). Após o corte foi retirada a proteção adesiva da película polarizadora, que foi então colada na chapa de acrílico, obtendo-se assim o 'filtro polarizador fixo' (Figura 11).

Figura 9 - Chapa de acrílico marcada para corte.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 10 - Película polarizadora marcada para corte.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

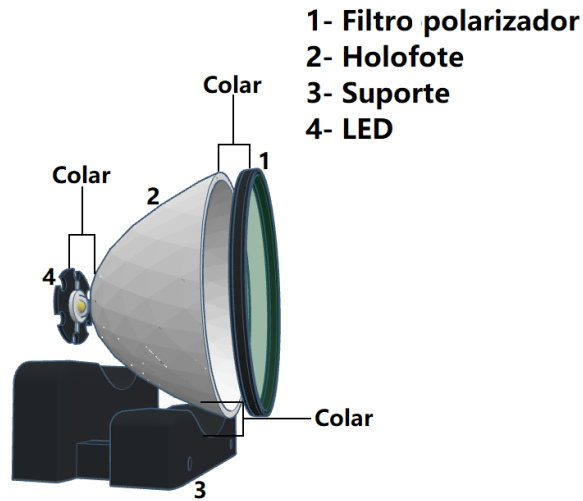
Figura 11 - Filtro polarizador fixo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após essa etapa, foi colada sobre o filtro polarizador uma folha de papel manteiga como difusor de luz para uma melhor visualização da fonte. Este filtro foi então colado com super cola entre o anel superior e o anel inferior como mostrado na Figura 8. Esta montagem (anel inferior, papel manteiga, disco polarizador, anel superior) foi colada ao holofote utilizando supercola. A estrutura resultante foi colada ao suporte e o LED (montado na etapa anterior) foi colado ao fundo do holofote (Figura 12).

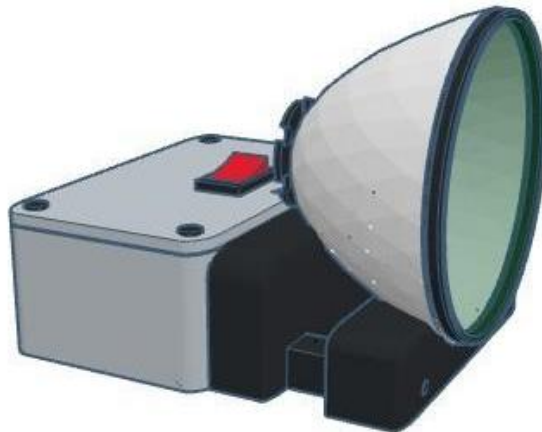
Figura 12 - Montagem do holofote.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Por fim foi colado o suporte do holofote na caixa de bateria, obtendo-se assim a fonte de luz do polarímetro (Figura 13).

Figura 13 - Fonte de luz do polarímetro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

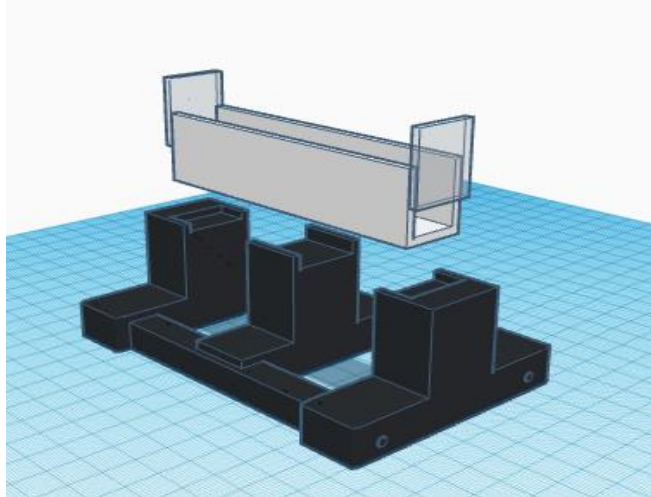
5.1.3 Cubeta e suporte de cubeta

A cubeta foi modelada com um comprimento interno de 10 cm, pois com este comprimento facilita-se o cálculo que é realizado em decímetros, e se tem um caminho óptico grande o suficiente para medir soluções menos concentradas. Esta foi impressa e pintada de branco para difundir a luz e impermeabilizar seu interior, e, posteriormente, colada com supercola uma chapa de acrílico de 2,0 cm x 2,5 cm de dimensão em cada extremidade da cubeta para passagem da luz polarizada.

O suporte da cubeta foi modelado de forma que, ao se colocar a cubeta, sua altura fique no centro da fonte de luz, o suporte foi impresso e pintado de preto para fins estéticos. A cubeta não é colada no suporte, para fácil remoção da mesma, pois facilita sua lavagem, adição e remoção de amostra.

A cubeta e o suporte da cubeta são mostrados a seguir na Figura 14.

Figura 14 - Modelo 3D da cubeta e suporte de cubeta.

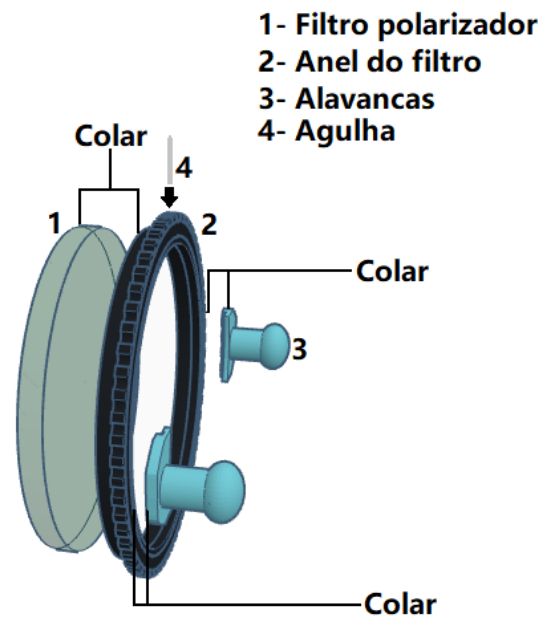


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.1.4 Disco polarizador móvel e suporte do disco

O Disco polarizador foi feito da mesma forma mostrada nas Figuras 9, 10 e 11, porém este foi colado com super cola no anel que será encaixado no suporte do disco. Nesta etapa é importante que o núcleo seja colado no anel de forma que a posição com menos intensidade de luz em relação a fonte coincida com o 0° marcado pela agulha no círculo milimetrado. neste anel também foram coladas 2 alavancas para facilitar o giro do mesmo e uma agulha para indicação dos graus medidos, como mostrado na Figura 15.

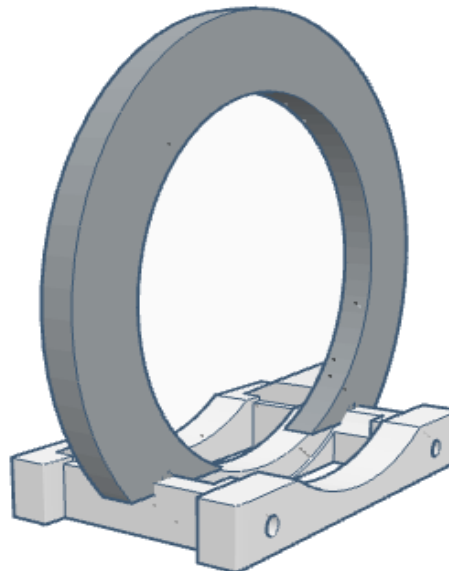
Figura 15 - Montagem disco polarizador móvel.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O suporte do disco foi impresso em 2 partes que foram coladas, obtendo assim o modelo da Figura 16.

Figura 16 - Suporte do disco móvel.

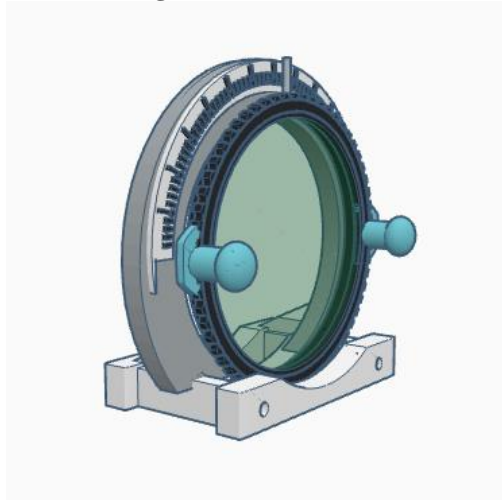


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Foi recortado e colado no suporte um círculo milimetrado para medição do ângulo analisado, o disco móvel é então encaixado no suporte, de forma que fique livre para ser

rotacionado, obtendo assim o analisador (Figura 17), composto do disco móvel com filtro e o suporte do disco.

Figura 17 - Analisador.

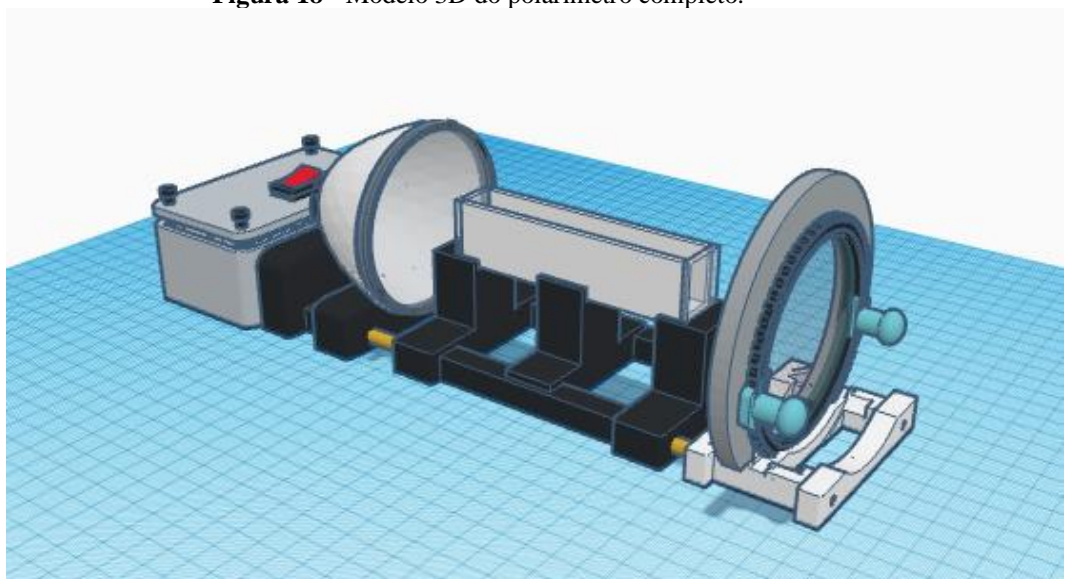


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Todos os 3 suportes (suporte do holofote, suporte da cubeta e suporte do disco móvel) foram modelados com 2 furos passantes como guias. As guias foram utilizadas para passar as hastes de bambu (palitos de churrasco) como fixação entre os suportes, para que as peças possam ser encaixadas e desencaixadas entre si.

Após a montagem da última parte do polarímetro foi feita a conexão dos suportes entre si, formando assim o polarímetro completo (Figura 18).

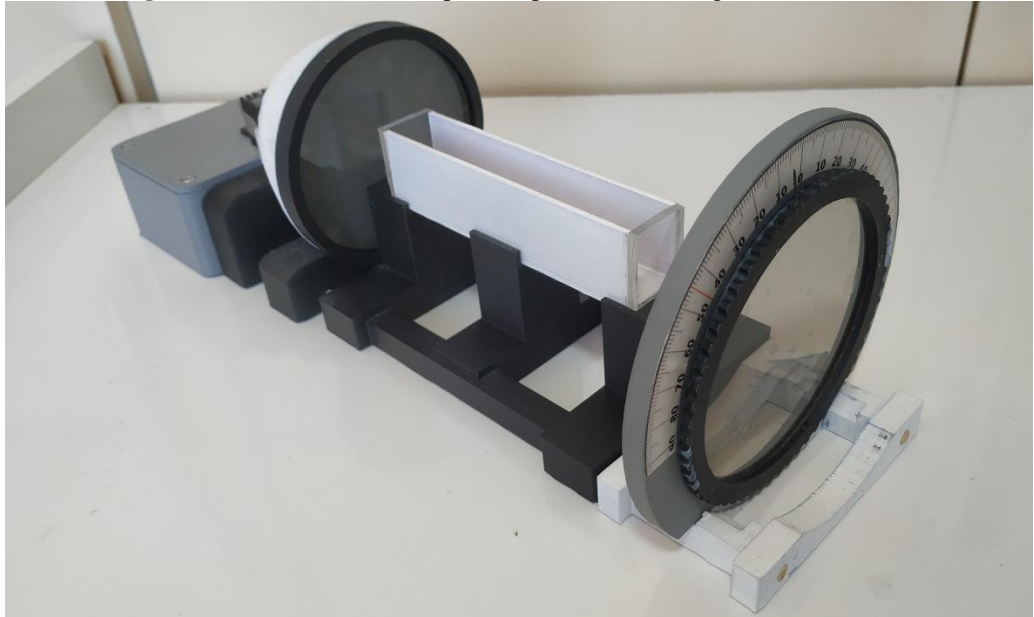
Figura 18 - Modelo 3D do polarímetro completo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

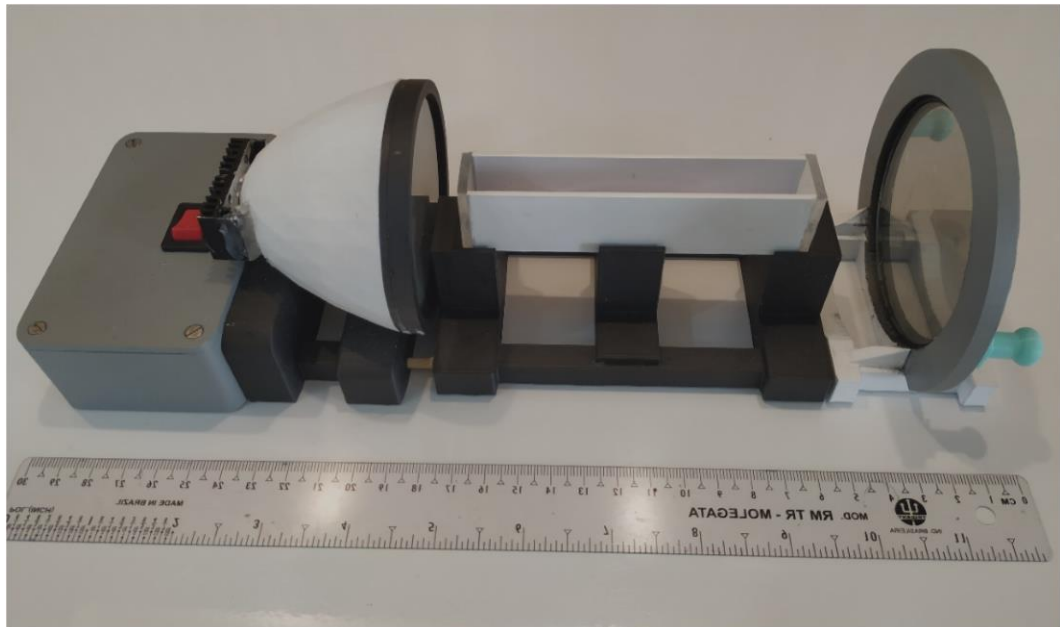
Nas Figuras 19a, 19b e 19c é possível visualizar o polarímetro impresso.

Figura 19a - Polarímetro completo impresso (visão diagonal).



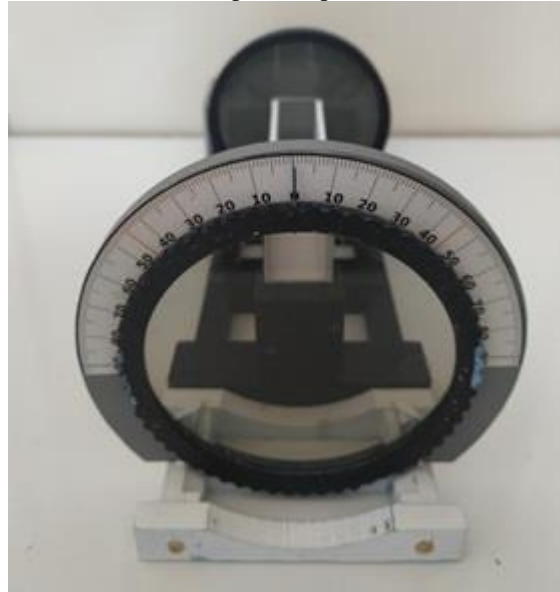
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 19 b- Polarímetro completo impresso (visão lateral).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 19c - Polarímetro completo impresso (visão frontal).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

5.2 TESTE DO POLARÍMETRO - Resultados obtidos

5.2.1 EFEITO DA LUZ POLICROMÁTICA

O LED utilizado produz luz branca ao iluminar com luz ultravioleta um material fosforescente, similar ao utilizado em lâmpadas fluorescentes.

Assim, a luz produzida não contém todos os comprimentos de onda, apenas uma pequena variedade destes, simulando luz branca. Essa luz produzida é, portanto, policromática.

Por ser uma fonte de luz policromática, o efeito foi diferente de uma fonte monocromática. Em uma fonte monocromática observa-se que ao girar o filtro polarizador não há variação da cor da luz da fonte, mas sim da intensidade de luz, que diminui até o bloqueio praticamente completo, com pouca luz chegando ao olho do observador. A impressão que este tem é de ver a imagem se tornar preta. Como exemplo na Figura 20, onde se vê diferentes fontes de luz monocromáticas (vermelho, verde e azul) e em intensidades diferentes, variando do ponto de maior intensidade A, passando pelo ponto B de média intensidade até o ponto de menor intensidade C. As imagens obtidas na Figura 20 foram obtidas substituindo o Led branco por Led's monocromáticos.

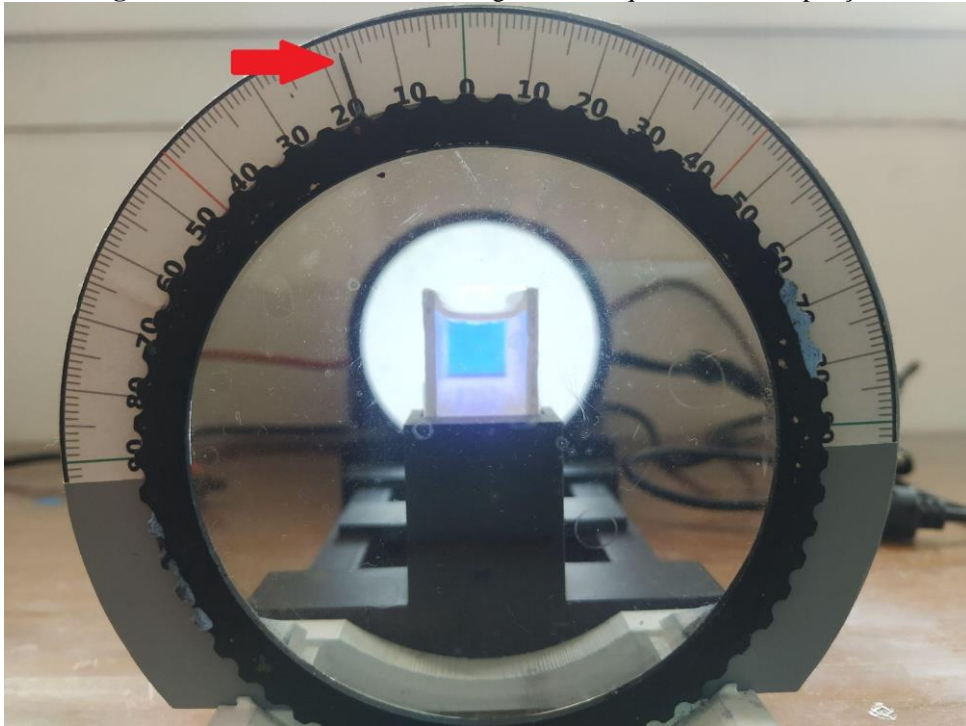
Figura 20 - Exemplos com luz monocromática.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

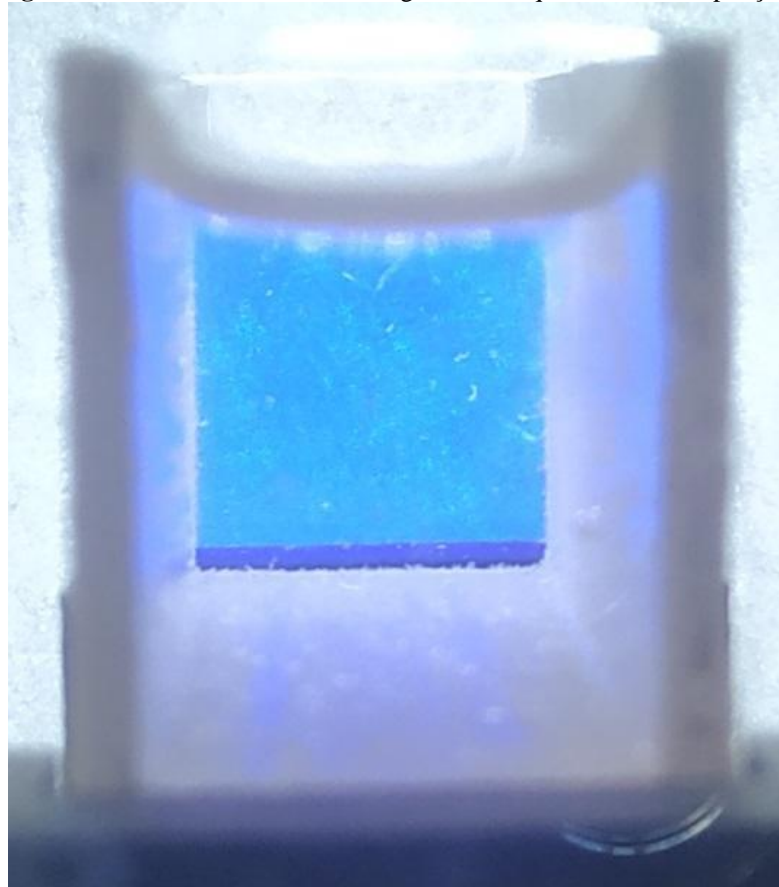
Na fonte policromática ao girar o filtro polarizador após a luz polarizada passar pela amostra, observa-se variações da cor branca: (Figuras 21 e 22) quando o filtro se encontra em um ângulo menor ao ângulo desejado, observa-se que a luz que chega até o operador obtém um tom azul; (Figuras 23 e 24) quando se está em um ângulo maior que o ângulo desejado observa-se uma luz de tom laranja, e (Figuras 25 e 26) quando o filtro se encontra exato no ponto desejado observa-se uma luz de tom roxo - este ângulo será chamado de "alfa".

Figura 21 - Cor azul da cubeta em ângulo menor que alfa, sem ampliação.



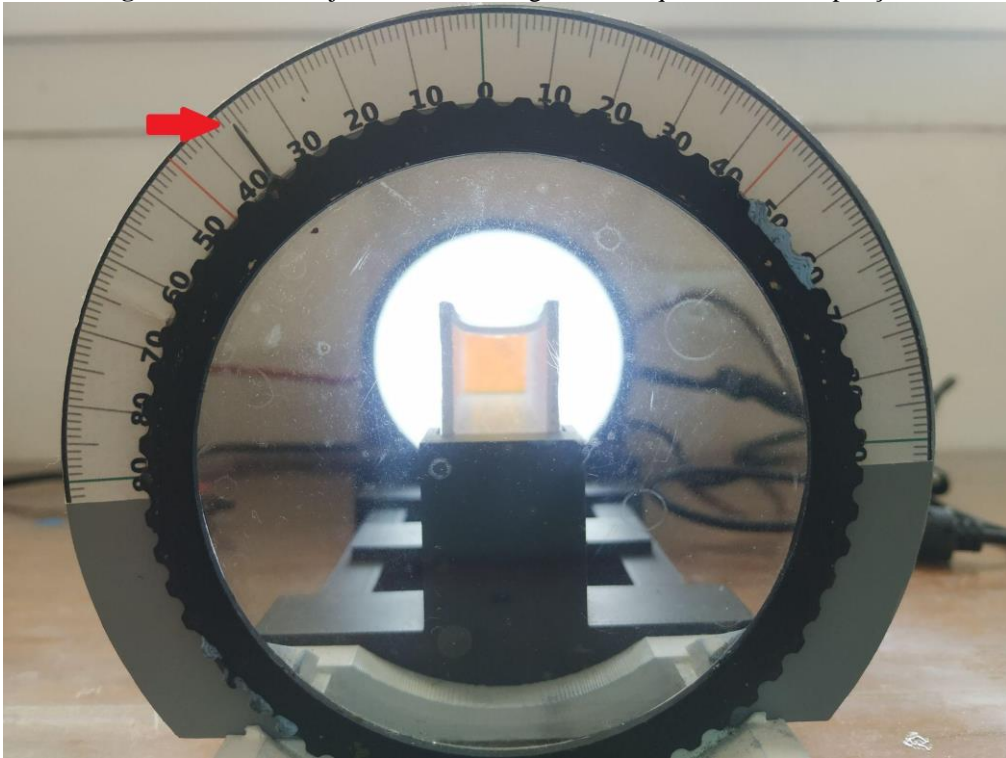
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 22 - Cor azul da cubeta em ângulo menor que alfa, com ampliação.



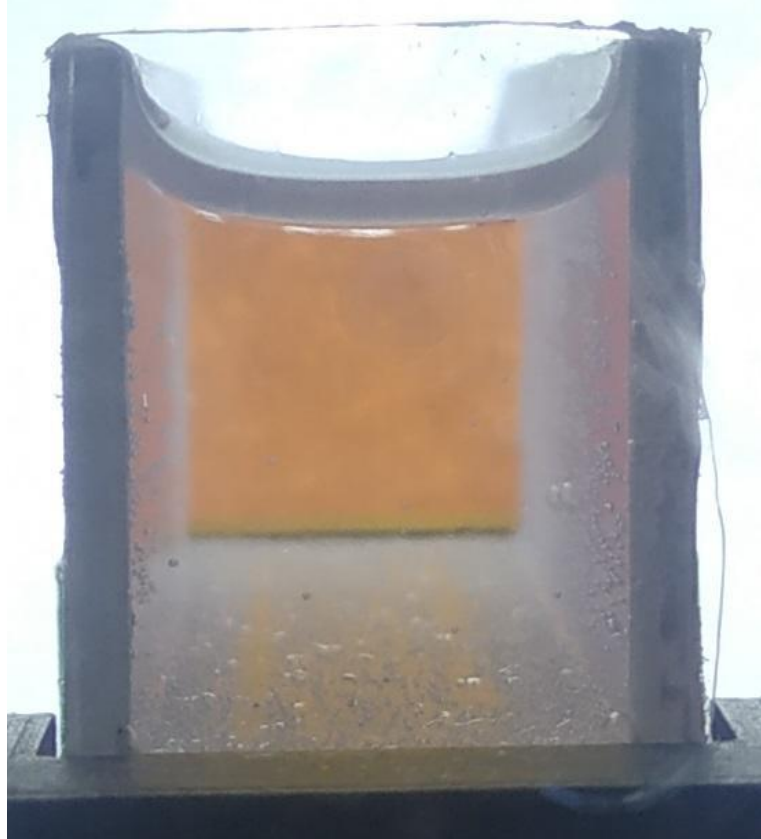
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 23 - Cor laranja da cubeta em ângulo maior que alfa, sem ampliação.



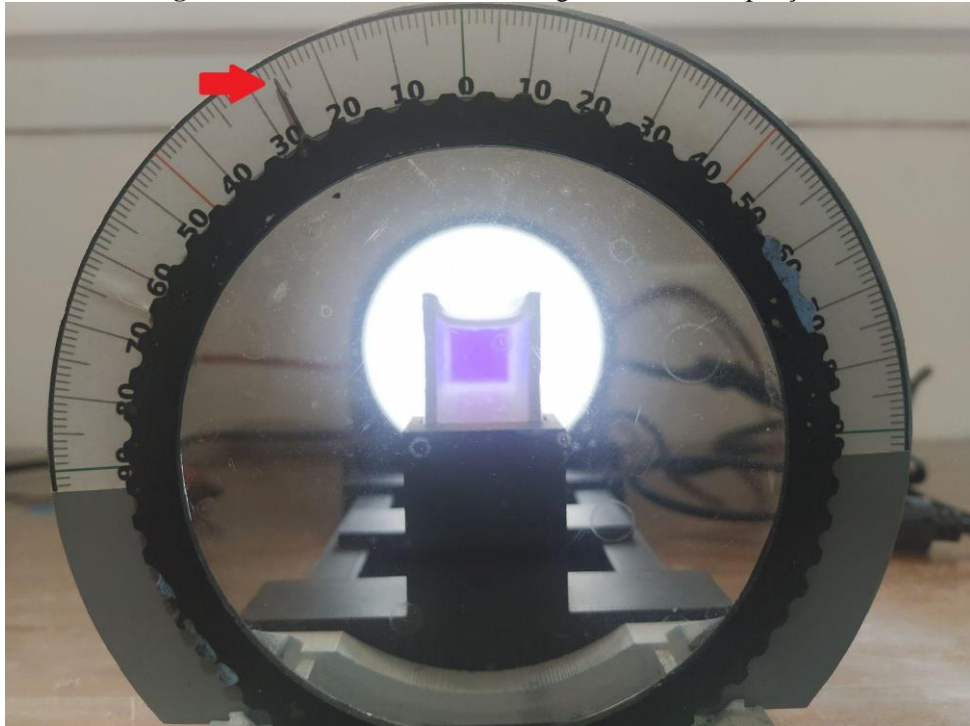
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 24 - Cor laranja da cubeta em ângulo maior que alfa, com ampliação.



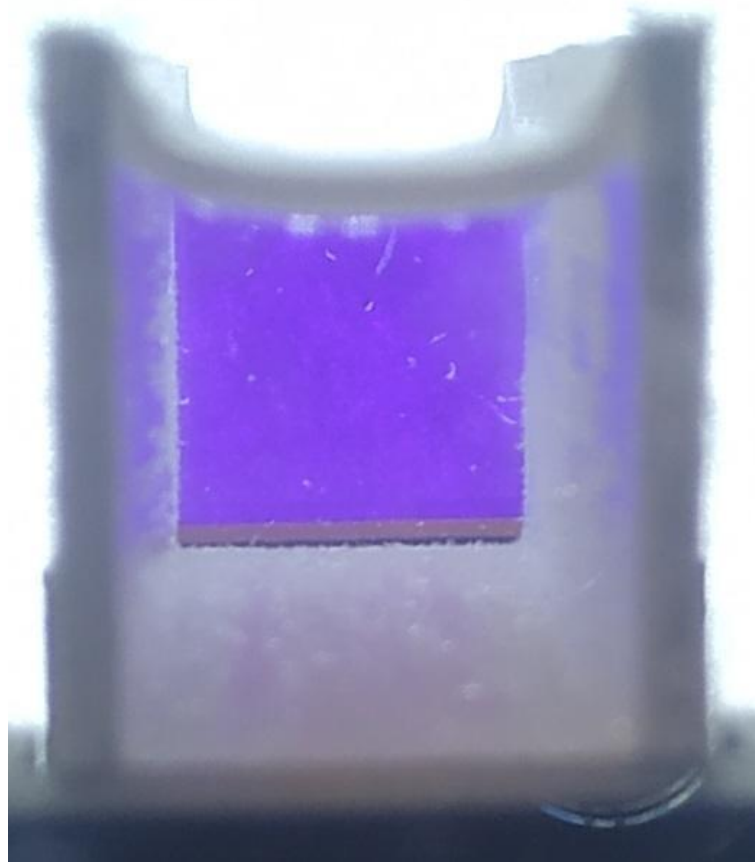
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 25 - Cor roxa da cubeta em ângulo alfa, sem ampliação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

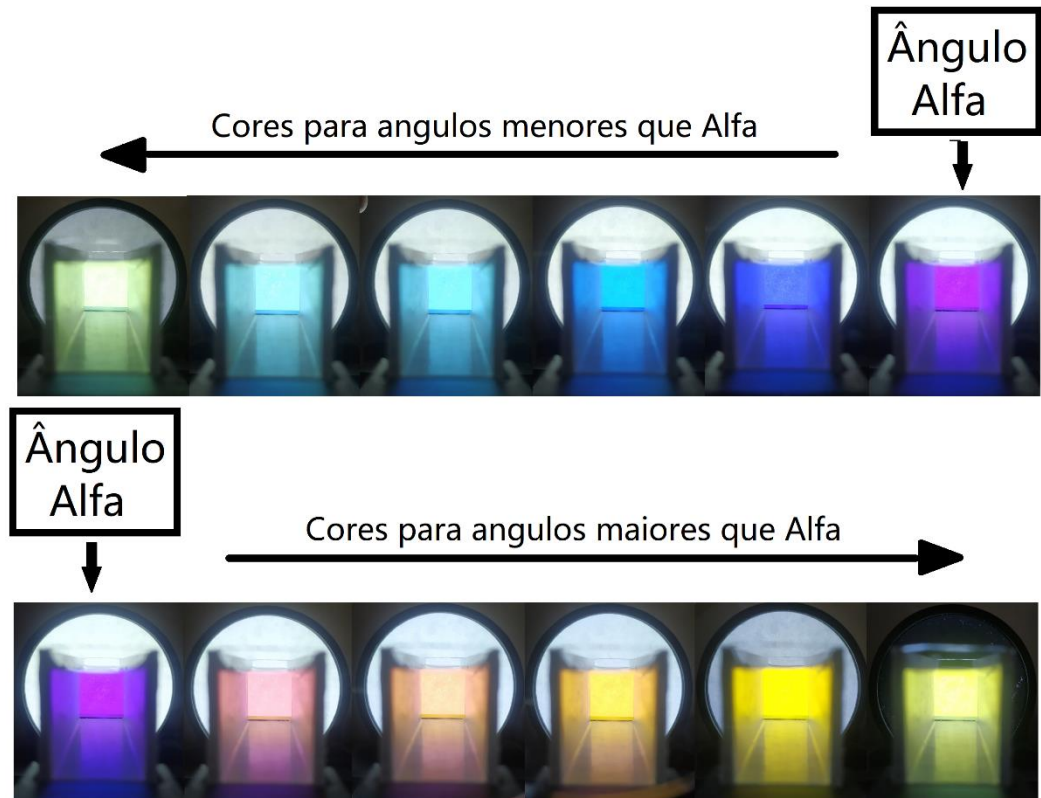
Figura 26 - Cor roxa da cubeta em ângulo alfa, com ampliação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Este efeito também é observado na Figura 27, onde observa-se uma escala de cores antes e depois do ângulo “alfa”.

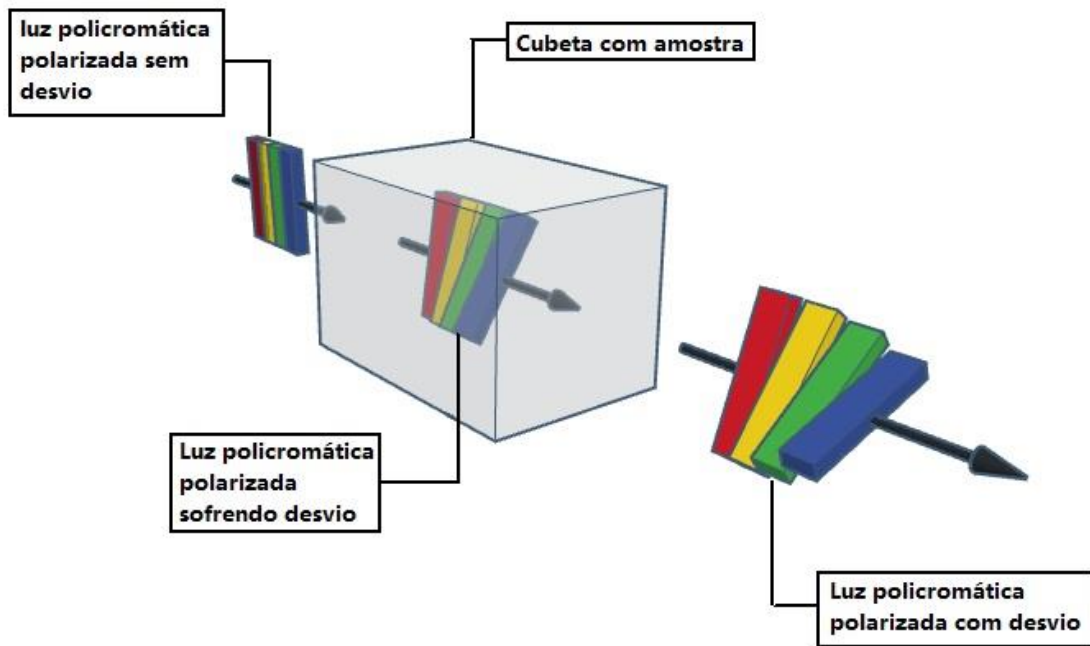
Figura 27 – Escala de cores.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Essa cor roxa foi definida como o ponto de medição (ângulo “alfa”), ou seja, mede-se o ângulo encontrado quando o operador visualiza a cor roxa. Este efeito se dá pelo fato de a luz branca ser composta por todo o espectro visível, ou seja, possuir vários comprimentos de onda, e cada comprimento de onda, ao passar pela amostra opticamente ativa, sofre uma rotação diferente (BARBOSA 2011): quanto menor o comprimento de onda, maior é a rotação. Então quando o “pacote” de comprimentos de onda passa pela amostra e é rotacionado, observa-se a separação desses comprimentos, que é visto na forma de cores, como mostrado na Figura 28.

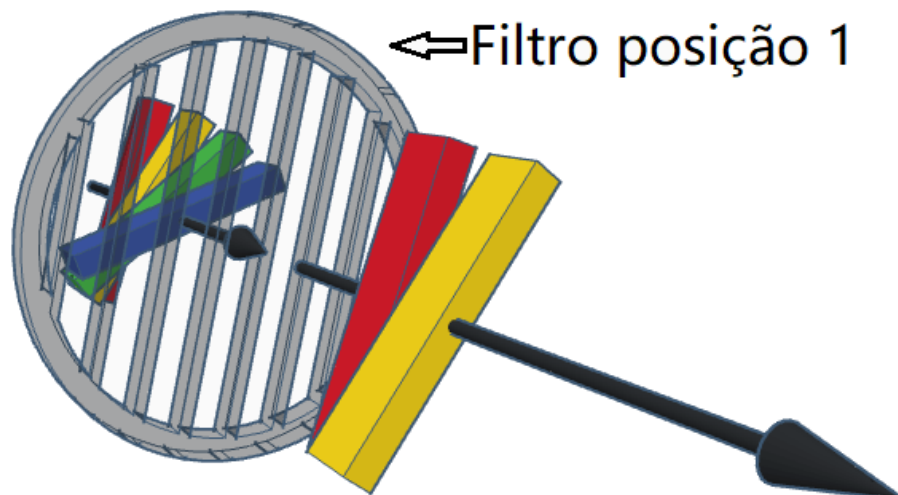
Figura 28 - Luz policromática sofrendo desvio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

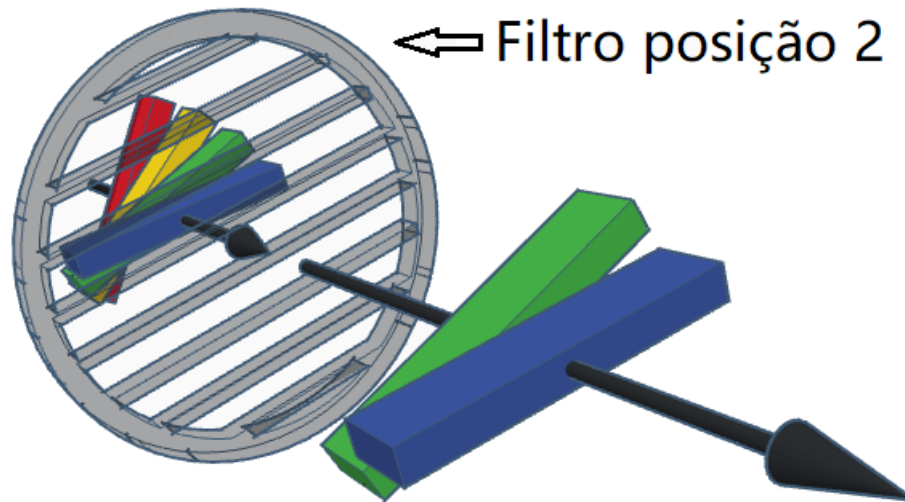
A variação de cores ao rotacionar o filtro polarizador ocorre pois, em certas posições, como mostrado nas Figuras 29 e 30, o filtro bloqueia alguns comprimentos de onda e permite a passagem de outros.

Figura 29 – Bloqueio do filtro na posição 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 30 - Bloqueio do filtro na posição 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O LED branco (luz policromática) foi escolhido justamente para observar este efeito, de como cada comprimento de onda possui um desvio diferente, e que é possível separá-los através da rotação que a amostra proporciona, e ainda foi possível medir a concentração das amostras sem dificuldade.

5.2.2 MEDIDAS DE CONCENTRAÇÃO

Utilizou-se da seguinte fórmula para calcular a concentração das soluções de sacarose e frutose (CAREY 2007):

$$c = \frac{\theta}{[\alpha_D^{20}] * l}$$

onde:

“c” é a concentração em miligramas por mililitro.

“ θ ” é a medida em graus.

“ $[\alpha]_D^{20}$ ” é a rotação específica do composto, medida a 20 graus celsius, usando-se luz de 589 nm, a banda D do sódio.

“l” é o comprimento do percurso da luz dentro da solução, em decímetros.

Rotação específica: (LIDE 2010)

$$[\alpha]_D^{20} \text{ Sacarose} = 66,37 \quad [\alpha]_D^{20} \text{ Frutose} = -92,0$$

Foi retirada uma alíquota de cada solução, que foi analisada cinco vezes no polarímetro e foi tirada uma média simples destas cinco medidas. Também foram calculadas médias das medidas realizadas para as soluções A e B, C e D, E e F. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 - Resultados das análises da solução A e B e sua média total.

Soluções sacarose (A e B) 250g/L			
Solução A		Solução B	
Análise 1	16,0°	Análise 1	17,0°
Análise 2	16,5°	Análise 2	16,5°
Análise 3	17,0°	Análise 3	16,5°
Análise 4	17,0°	Análise 4	16,5°
Análise 5	17,0°	Análise 5	16,0°
Média (A)	16,7°	Média (B)	16,5°
(desvio padrão = 0,45)		(desvio padrão = 0,35)	
Média total = 16,6°			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Resultados das análises da solução C e D e sua média total.

Soluções frutose (C e D) 500g/L			
Solução C		Solução D	
Análise 1	-45,5°	Análise 1	-46,0°
Análise 2	-46,0°	Análise 2	-46,0°
Análise 3	-46,0°	Análise 3	-45,5°
Análise 4	-45,5°	Análise 4	-46,0°
Análise 5	-45,5°	Análise 5	-46,0°
Média (A)	-45,8°	Média (B)	-45,9°
(desvio padrão = 0,27)		(desvio padrão = 0,22)	
Média total = -45,85°			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Resultados das análises da solução E e F e sua média total.

Soluções frutose (E e F) 250g/L			
Solução E		Solução F	
Análise 1	-23,5°	Análise 1	-23,0°
Análise 2	-23,5°	Análise 2	-23,5°
Análise 3	-23,0°	Análise 3	-23,0°
Análise 4	-23,0°	Análise 4	-23,0°
Análise 5	-23,5°	Análise 5	-23,5°
Média (A)	-23,3°	Média (B)	-23,2°
(desvio padrão = 0,27)		(desvio padrão = 0,27)	
Média total = -23,25°			

Fonte: Elaborado pelo autor.

O mesmo foi feito para as amostras de refrigerante, onde foram feitas cinco análises de uma mesma alíquota e calculou-se a média desses valores, mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados das análises das amostras de refrigerantes.

Amostras de refrigerante					
RF1		RF2		RF3	
Análise 1	6,5°	Análise 1	3,0°	Análise 1	6,0°
Análise 2	7,0°	Análise 2	3,5°	Análise 2	6,5°
Análise 3	7,0°	Análise 3	3,5°	Análise 3	6,5°
Análise 4	7,0°	Análise 4	3,5°	Análise 4	6,5°
Análise 5	7,0°	Análise 5	3,5°	Análise 5	7,0°
(desvio padrão = 0,22)		(desvio padrão = 0,22)		(desvio padrão = 0,35)	
Média (RF1)	6,9°	Média (RF2)	3,4°	Média (RF3)	6,5°

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Resultados finais das soluções de sacarose.

Soluções de sacarose					
Amostra 1 (A e B)			Amostra 2 (RF1)		
Valor encontrado	16,5°	248,5g/L	Valor encontrado	6,90°	103,9g/L
Valor esperado	16,6°	250,0g/L	Valor esperado	6,64°	100,0g/L
Erro percentual	0,6 %		Erro percentual	3,9 %	
Amostra 3 (RF2)			Amostra 4 (RF3)		
Valor encontrado	3,4°	51,23g/L	Valor encontrado	6,5°	97,94g/L
Valor esperado	3,29°	49,50g/L	Valor esperado	6,64°	100g/L
Erro percentual	3,5 %		Erro percentual	2,1 %	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 - Resultados finais das soluções de frutose.

Soluções de frutose					
Amostra 5 (C e D)			Amostra 6 (E e F)		
Valor encontrado	-45,8°	498,4g/L	Valor encontrado	-23,25°	252,7g/L
Valor esperado	-46,0°	500,0g/L	Valor esperado	-23,0°	250,0g/L
Erro percentual	0,3 %		Erro percentual	1,1%	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Visualizou-se que a amostra rotacionava o plano da luz polarizada; foi possível também observar a diferença de amostras dextrógiras e levógiras, onde as mesmas rotacionaram o plano da luz em sentidos opostos, conforme previsto por Barbosa (2011) e Carey (2011). Foi

também possível medir com exatidão (erro máximo de 4%) a concentração das soluções de sacarose e frutose. Este erro foi baseado no valor esperado, porém este valor pode não representar o valor real da solução, pois, como dito anteriormente, devido a pandemia as soluções foram preparadas em casa, sem os instrumentos corretos, como um balão volumétrico por exemplo.

Não foi possível calcular um limite de detecção para o polarímetro, porém observou-se que em concentrações que geram uma rotação menor que 2° dificulta a análise, podendo gerar resultados imprecisos, entretanto é possível utilizar cubetas com caminho óptico maior, aumentando assim a rotação da luz polarizada.

5.3 RELATO DE CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO POLARÍMETRO

O presente tópico tem como objetivo apresentar a minha visão, enquanto aluno do curso de Bacharelado em Química, na construção de um equipamento de laboratório.

Durante a graduação tive aulas teóricas sobre substâncias opticamente ativas e práticas do que é e como utilizar um polarímetro. No entanto, ainda assim, não aprendi como acreditava que deveria ter aprendido. Dentre outras coisas, esse fator motivou a elaboração do meu Trabalho de Conclusão de Curso acerca dessa temática.

Ao longo das minhas pesquisas para o desenvolvimento e escrita deste trabalho, percebi que até mesmo a compreensão que eu tinha sobre o assunto era errônea. Por exemplo, quando diziam que “uma substância dextrógira desvia a luz para direita”, eu acreditava que a substância desviava o feixe de luz em si, e não que a mesma rotacionava o plano da luz.

Ao operar o polarímetro em uma aula experimental, eu não entendia o porquê da fonte de luz ser uma lâmpada de sódio, não entendia o porquê rodar o filtro analisador fazia escurecer a imagem mostrada. Ao desenvolver o meu TCC, pude compreender o polarímetro para além do seu uso, compreendendo, de fato, como se dá o seu funcionamento. Isso, por sua vez, possibilitou um maior aprendizado até mesmo de áreas correlatas à Química.

Com base em minha experiência, creio que seja de grande utilidade para um aluno do curso de bacharelado em química, poder participar de um projeto de criação de aparelho de laboratório, pois, possivelmente, esse exercício contribuirá para a diminuição das dúvidas e para uma melhor compreensão acerca dos conceitos, do uso e do funcionamento do equipamento escolhido.

6 CONCLUSÃO

Durante o processo de fabricação e desenvolvimento do polarímetro o aluno adquiriu novos conhecimentos, conhecimentos estes na técnica e fundamentação teórica utilizada no funcionamento do equipamento, bem como conhecimento de fabricação de equipamento de laboratório. Este conhecimento corrobora os estudos de Santos *et al.* (2019), Araujo *et al.* (2018) e Giordan (1999), de que a prática cria um incentivo ao conhecimento e facilidade de compreensão do mesmo.

O polarímetro se mostrou um equipamento de fácil manuseio e de análise rápida, gerando resultados muito próximos do esperado. O equipamento final ficou em um tamanho pequeno e leve, sendo assim, fácil de se transportar e se tornou um equipamento didático pois é possível ver cada etapa do processo acontecendo. Os resultados gerados foram muito satisfatórios pois se aproximaram muito do valor real, tanto as amostras preparadas quanto as amostras industrializadas, validando assim a eficiência do equipamento, tanto nos quesitos analíticos quanto nas ideias propostas de tamanho, mobilidade e didática.

Apesar do efeito de fragmentação da luz policromática ao passar pelos filtros e amostra, gerando assim diferentes cores observadas pelo operador, efeito este não ocorrido ao utilizar luz monocromática, foi possível utilizar o LED branco para montagem do aparelho. Porém a substituição do Led é uma tarefa simples, caso o operador queira substituí-lo por um Led monocromático.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Testar a eficácia do equipamento em aulas experimentais, comparando resultados com um polarímetro profissional e com o design do equipamento didático;
- Testar a metodologia de criação de equipamentos de laboratório com uma turma de estudantes de química e avaliar a eficácia;
- Desenvolver outros equipamentos de laboratório, criados por alunos do curso de química e montar uma exposição / acervo com esses equipamentos;
- Analisar ao longo do tempo as modificações que outros alunos farão no polarímetro.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. J. O. **O uso da experimentação no ensino de reações químicas: articulando teoria e prática na formação docente.** In Congresso nacional de educação, 5 ed,

Pernambuco. Realize Eventos Científicos & Editora: Abigail Fregni Lins *et al*, 2018.

Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/48323>> Acesso em: 10 jan 2022.

BARBOSA, L. C. A. B. **Introdução à Química Orgânica.** São Paulo: Pearson education 2a ed, 2011.

BRITANNICA, **The Editors of Encyclopaedia.** "Polarization". Encyclopedia Britannica, 17 Jul. 2020, Disponível em <<https://www.britannica.com/science/polarization-physics>>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

CAREY, F. A. C. **Química orgânica,** Porto Alegre: AMGH, 7a ed, 2011.

CAREY, F. A. C. **Advanced Organic Chemistry Part A. Structure and Mechanisms,** Virginia: Springer, 2007

COMMONS, **Wikimedia Commons, the free media repository.** 2011 Disponível em <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chirality_with_hands.svg>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

COMMONS, **Wikimedia Commons, the free media repository,** 2013, Disponível em <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polarimeter_\(Optical_rotation\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Polarimeter_(Optical_rotation).svg)>. Acesso em 18 de novembro de 2021.

COMMONS, **Wikimedia Commons, the free media repository,** 2006, Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saccharose.svg>>. Acesso em 19 de novembro de 2021

COMMONS, **Wikimedia Commons, the free media repository,** 2007, Disponível em <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beta-D-Fructofuranose.svg>>. Acesso em 19 de novembro de 2021

GIORDAN, M. G. O papel da Experimentação no Ensino de Ciências. **Química Nova na Escola,** nº10, pg 43-49, 1999. Disponível em:

<<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>> Acesso em: 10 jan 2022

HECHT, E. H. **Óptica**. Madrid: Addison Wesley Iberoamericana, 3a ed. 2002.

JUNIOR, S. V. Jr. **Análise Química Instrumental e sua Aplicação em Controle de Qualidade de Biocombustíveis**. Brasília, 2010 Disponível em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/872917/1/CIT03.pdf>>.

Acesso em 10 Jan 2022.

LIDE, D. R. L. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. Florida: CRC press. 90a ed, 2010

LOWINSOHN, D. **Introdução à análise química**. Juiz de Fora, 2016 Disponível em

<[https://www.ufjf.br/nupis/files/2016/08/Aula-1-solu%C3%A7%C3%B5es-e-](https://www.ufjf.br/nupis/files/2016/08/Aula-1-solu%C3%A7%C3%B5es-e-c%C3%A1lculos-de-concentra%C3%A7%C3%B5es.pdf)

[c%C3%A1lculos-de-concentra%C3%A7%C3%B5es.pdf](https://www.ufjf.br/nupis/files/2016/08/Aula-1-solu%C3%A7%C3%B5es-e-c%C3%A1lculos-de-concentra%C3%A7%C3%B5es.pdf)> Acesso em: 12 de jan 2022.

ROCHA Bárbara Santos Rocha. ensino experimental: implementando um plano de gerenciamento de laboratórios didáticos de química em uma instituição federal de educação, ciência e tecnologia, **acta biomédica brasileira**, vol 6, n 2, 97-115, dezembro, 2015

SANTOS, T. M. L. **A experimentação como ferramenta no processo de ensino-aprendizagem de química: relação entre a teoria e a prática**. In: congresso internacional

das licenciaturas, 6ª edição, Pernambuco, Instituto Internacional Despertando Vocações,

2019. Disponível em: <[https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvl/uploadsAnais2020/A-](https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvl/uploadsAnais2020/A-EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O-COMO-FERRAMENTA-NO-PROCESSO-DE-ENSINO-APRENDIZAGEM-DE-QU%C3%8DMICA:-RELA%C3%87%C3%83O-ENTRE-A-TEORIA-E-A-PR%C3%81TICA.pdf)

[EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O-COMO-FERRAMENTA-NO-PROCESSO-DE-](https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvl/uploadsAnais2020/A-EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O-COMO-FERRAMENTA-NO-PROCESSO-DE-ENSINO-APRENDIZAGEM-DE-QU%C3%8DMICA:-RELA%C3%87%C3%83O-ENTRE-A-TEORIA-E-A-PR%C3%81TICA.pdf)

[ENSINO-APRENDIZAGEM-DE-QU%C3%8DMICA:-RELA%C3%87%C3%83O-ENTRE-](https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvl/uploadsAnais2020/A-EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O-COMO-FERRAMENTA-NO-PROCESSO-DE-ENSINO-APRENDIZAGEM-DE-QU%C3%8DMICA:-RELA%C3%87%C3%83O-ENTRE-A-TEORIA-E-A-PR%C3%81TICA.pdf)

[A-TEORIA-E-A-PR%C3%81TICA.pdf](https://cointer.institutoidv.org/inscricao/pdvl/uploadsAnais2020/A-EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O-COMO-FERRAMENTA-NO-PROCESSO-DE-ENSINO-APRENDIZAGEM-DE-QU%C3%8DMICA:-RELA%C3%87%C3%83O-ENTRE-A-TEORIA-E-A-PR%C3%81TICA.pdf)> Acesso em: 12 jan 2022

TINKERCAD. Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/>>. Acesso em 7 de junho de 2021

ZILIO, S. C. Z. **Óptica Moderna Fundamentos E Aplicações**. São Paulo: Fotônica, 2009.