



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE QUÍMICA LICENCIATURA

JULIANNE BEZERRA REGIS DE CARVALHO

**CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO COM
POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO NA FORMAÇÃO ACADÊMICA DE
LICENCIANDOS EM QUÍMICA**

Caruaru

2022

JULIANNE BEZERRA REGIS DE CARVALHO

**CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO COM
POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO NA FORMAÇÃO ACADÊMICA DE
LICENCIANDOS EM QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Química Licenciatura do Campus Agreste da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, na modalidade de monografia, como
requisito para a obtenção do título de
Licenciada em Química.

Área de concentração: Ensino de Química

Orientadora: Profa. Dra. Regina Celia Barbosa de Oliveira

Caruaru

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Carvalho, Julianne Bezerra Regis de.

Construção de um espectrofotômetro de baixo custo com possibilidade de aplicação na formação acadêmica de licenciandos em Química / Julianne Bezerra Regis de Carvalho. - Caruaru, 2022.

89 : il., tab.

Orientador(a): Regina Célia Barbosa de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Química - Licenciatura, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. Ensino de Química. 2. Química Experimental. 3. Análise Instrumental. I. Oliveira, Regina Célia Barbosa de. (Orientação). II. Título.

540 CDD (22.ed.)

JULIANNE BEZERRA REGIS DE CARVALHO

**CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTROFOTÔMETRO DE BAIXO CUSTO COM
POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO NA FORMAÇÃO ACADÊMICA DE
LICENCIANDOS EM QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Química Licenciatura do Campus Agreste da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, na modalidade de monografia, como
requisito para a obtenção do título de
Licenciada em Química.

Aprovada em: 04/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Regina Celia Barbosa de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Ana Paula de Souza de Freitas (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Juliana Angeiras Batista da Silva (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Darlene e Adelmo, que me ensinaram, pelo
seu exemplo, o quão fundamental é a
Educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ser meu guia em todos os momentos. À minha família, e em especial aos meus pais, Darlene e Adelmo, e ao meu irmão, Thiago, por serem o alicerce da minha vida e me apoiarem incondicionalmente.

Também ao meu esposo, Luís Felipe, que foi peça fundamental no desenvolvimento deste trabalho, agradeço por todo o apoio, incentivo e tempo investido, e por compreender a minha ausência durante esse período conturbado.

Agradeço à minha professora e orientadora, Regina, pela confiança em mim depositada, e juntamente a ela às professoras Ana Paula e Juliana, por todas as contribuições realizadas. Também a todos os professores que passaram pela minha vida acadêmica, e à minha professora de Química do Ensino Médio, Janine, por me despertar o interesse por essa Ciência. Vocês são minha referência profissional.

À minha amiga, Jamicelly, por ser meu exemplo de perseverança e por contribuir ativamente com esta pesquisa, e aos meus amigos, Saulo e Diego, gratidão por serem quem são e por compartilharem os melhores momentos comigo. Agradeço também aos meus amigos da graduação, Kleb, Andrewemerson e Júlio César, por toda a ajuda durante esses anos, e à Universidade Federal de Pernambuco - Campus Agreste, por ter me proporcionado uma ampla formação acadêmica.

A esses e a todos que direta ou indiretamente agregaram à minha trajetória, o meu muito obrigado.

“A educação exige os maiores cuidados, porque influi sobre toda a vida”. (Sêneca)

RESUMO

A fim de acompanhar os avanços científicos e tecnológicos da sociedade, é crescente a necessidade de novas proposições para o ensino de Química que despertem a curiosidade científica, a capacidade de observação aprimorada e o senso crítico apurado dos discentes. Essa necessidade se torna ainda mais evidente em se tratando da dificuldade de aprendizagem devido ao uso de métodos tradicionais de ensino, conforme relatada nos cursos de formação em Química. Uma alternativa a essa problemática pode ser pensada através da proposição da experimentação instrumental, podendo ser utilizada pelo professor através de uma abordagem crítico-reflexiva, tecnológica e interdisciplinar. Entretanto, por muitas vezes, a fim de que essa seja uma alternativa viável economicamente, torna-se necessária a proposição da construção de equipamentos analíticos a partir de materiais de baixo custo. Nesse sentido, ao se pensar no ensino de Química, o espectrofotômetro é uma boa escolha, pois seus componentes podem ser facilmente substituídos por materiais simples, além de que sua utilização permite a abordagem de diversos conceitos relacionados à interação da radiação eletromagnética com a matéria, inerentes ao estudo da Química. Dessa forma, a pesquisa em voga visou a construção de um espectrofotômetro de baixo custo aplicável ao ensino de Química. Para tal, além de materiais convencionais, foi também utilizado um Arduino (plataforma de prototipagem eletrônica) para aquisição de dados. Experimentos foram realizados para a avaliação da performance do equipamento construído, sendo estes levados em conta na proposição de um roteiro experimental voltado para o ensino. O espectrofotômetro visível construído apresentou um custo total de duzentos e cinquenta reais e 25 centavos, o equivalente a cerca de 20 vezes menos do que um equipamento comercialmente disponível, e, além disso, se mostrou capaz de gerar dados com precisão aceitável à sua finalidade educacional. Dessa forma, entende-se que os resultados desse trabalho viabilizam a inserção do equipamento construído no ambiente acadêmico, e representam grandes potencialidades para os cursos de formação docente no que concerne ao ensino de Química.

Palavras-chave: Ensino de Química; Química Experimental; Análise Instrumental.

ABSTRACT

In order to keep up with the scientific and technological advances of society, there is a growing need for new propositions regarding the teaching of Chemistry that arouse scientific curiosity, the ability to improve observation and the accurate critical sense of the students. This need becomes even more evident when it comes to the learning difficulties due to the use of traditional teaching methods, as reported in Chemistry teaching courses. An alternative to this problem can be thought of through the proposition of instrumental experimentation, which can be used by the teacher through a critical-reflexive, technological and interdisciplinary approach. However, in order for this to be an economically viable alternative, it is often necessary to suggest the construction of analytical equipment from low-cost materials. In this sense, when thinking about the teaching of Chemistry, the spectrophotometer is a good choice, because its components can be easily replaced by simple materials, and its use allows the approach of several concepts related to the interaction of electromagnetic radiation with matter, inherent to the study of Chemistry. Thus, the current research aimed at the construction of a low-cost spectrophotometer applicable to the teaching of Chemistry. For this, in addition to conventional materials, an Arduino (electronic prototyping platform) was also used for data acquisition. Experiments were carried out to evaluate the performance of the built equipment, which were taken into account when proposing an experimental script aimed at teaching. The visible spectrophotometer built had a total cost of two hundred and fifty reais and 25 cents, equivalent to about 20 times less than a commercially available equipment, and, in addition, it was able to generate data with acceptable accuracy for its educational purpose. Thus, it is understood that the results of this work enable the insertion of the equipment built in the academic environment and represent great potential for teacher training courses regarding the teaching of Chemistry.

Keywords: Chemistry Teaching; Experimental chemistry; Instrumental Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Pirâmide da aprendizagem de Glasser.....	26
Figura 2:	Esquematização de uma onda eletromagnética. O vetor E representa o campo elétrico, B o campo magnético e V a velocidade de propagação da onda (velocidade da luz no vácuo).	33
Figura 3:	Parâmetros de uma onda.....	34
Figura 4:	Espectro eletromagnético.....	35
Figura 5:	Tipos de excitações provocadas por porção do espectro eletromagnético.....	36
Figura 6:	Diagrama de níveis de energia, retratando o fóton absorvido/emitido.....	38
Figura 7:	Alguns grupos cromóforos e seus respectivos comprimentos de onda de máxima absorção.....	40
Figura 8:	Representação dos orbitais moleculares HOMO e LUMO, e o gap de energia entre eles (ΔE).....	41
Figura 9:	Fenômeno de observação da cor pelo olho humano.....	42
Figura 10:	Difração da luz branca, exemplificando o seu policromismo.....	43
Figura 11:	Círculo cromático.....	44
Figura 12	Espectrofotômetro de Albert, Todt e Davis. A: LED; B: lente; C: suporte de cubeta; D: grade de difração; E: braço detector rotativo; F: fotodiodo; G: multímetro digital; H: dobradiça; I: bateria.....	49
Figura 13:	Espectrofotômetro de Place. Diagrama do circuito elétrico (abaixo) e display gráfico (acima), no qual há um voltímetro (<i>voltmeter</i>), compartimento de amostra (<i>sample</i>) e baterias (2 AA <i>battery pack</i>).....	51
Figura 14:	Espectrofotômetro de Silva. A: vista do espectrofotômetro da webcam de cima com todos os seus componentes, lâmpada (<i>light source</i>), espelho (<i>mirror</i>), porta-cubeta (<i>cuvette holder</i>), grade de difração (<i>diffraction grating</i>) e webcam; B: Dispositivo com a tampa fechada, no qual afenda pode ser encontrada fixada em sua tampa frontal.....	53

Figura 15:	Esquema da vista superior bidimensional do casing construído, com dimensões expressas em centímetros.....	57
Figura 16:	Esquema elétrico do espectrofotômetro construído. A: Arduino; B: servo motor; C: sensor de luminosidade; D: protoboard com as respectivas conexões via <i>jumper</i> s.....	58
Figura 17:	Esquema óptico/mecânico. A: fonte emissora de luz; B: servo motor; C: grade de difração; D: fenda; E: compartimento de cubeta e cubeta; F: sensor de luminosidade.....	59
Figura 18:	Espectrofotômetro de Arduino. A: fonte emissora de luz; B: servo motor e grade de difração; C: fenda; D: compartimento de cubeta e sensor de luminosidade (posteriormente); E: Arduino; F: protoboard.....	64
Figura 19:	Soluções diluídas de violeta genciana em concentrações de 0,002%, 0,001%, 0,0005% e 0,0001%, da esquerda para direita.	69
Figura 20:	Curva de calibração de violeta genciana.....	72
Figura 21:	Espectro de absorção obtido para violeta genciana.....	73
Figura 22:	Espectro de absorção da literatura científica para violeta genciana.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Materiais necessários à realização da pesquisa, e seus valores em Reais.....	55
Quadro 2:	Valores, em Reais, das categorias de componentes e valores totais para construção do equipamento e para a pesquisa.....	56
Quadro 3:	Código de programação do espectrofotômetro.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Leituras das medições das replicatas e suas médias para o experimento com diluições sucessivas de violeta genciana em uma faixa de comprimento de onda entre 500 nm a 590 nm.....	70
Tabela 2:	Absorbâncias calculadas a partir das médias de leitura em lux, para o experimento com diluições sucessivas de violeta genciana em uma faixa de comprimento de onda entre 500 nm a 590 nm....	70
Tabela 3:	Leituras obtidas durante o experimento de varredura.....	71
Tabela 4:	Absorbâncias calculadas para o experimento de varredura.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

Abs	Absorbância
<i>et al.</i>	E outros
P.A.	Para análise
Sol.	Solução

LISTA DE SÍMBOLOS

$\vec{B}$	Vetor campo magnético
$\vec{E}$	Vetor campo elétrico
A	Amplitude
c	Concentração molar do analito na amostra
C	Velocidade de propagação da luz no vácuo
d	Caminho óptico
E_1	Energia do estado fundamental
E_2	Energia do estado excitado
ϵ	Coeficiente de extinção (absortividade molar)
h	Constante de Planck
I	Intensidade da luz transmitida através do meio
I_0	Intensidade da luz incidida
P	Página
T	Período
$T\%$	Transmitância percentual
ν	Frequência
V	Velocidade de propagação da onda
ΔE	Variação de energia entre estados
$\lambda_{\text{máx}}$	Comprimento de onda de máxima absorção
λ	Comprimento de onda
π	Pi
σ	Sigma
Ω	Ohm

LISTA DE SIGLAS

DPR	Desvio Padrão Relativo
HOMO	<i>Highest Occupied Molecular Orbital</i>
IV	Infravermelho
LAS	Alquilbenzeno Sulfonato Linear
LD	Limite de Detecção
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LQ	Limite de Quantificação
LUMO	<i>Lowest Unoccupied Molecular Orbital</i>
MDF	<i>Medium-Density Fiberboard</i>
PID	Produto Interdisciplinar Didático
SI	Sistema Internacional de Unidades
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
TOM	Teoria do Orbital Molecular
TRFM	Teoria da Relatividade da Física Moderna
UV	Ultravioleta
UV-Vis	Ultravioleta-Visível
Vis	Visível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	OBJETIVOS.....	22
2.1	Objetivo Geral.....	22
2.2	Objetivos Específicos.....	22
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
3.1	Diferentes concepções teórico-metodológicas da experimentação.....	23
3.2	Metodologias ativas e sua aplicação na experimentação para o ensino de Química.....	25
3.3	Análise instrumental na formação em Química.....	30
3.4	Aspectos relevantes da espectrofotometria para o ensino de Química.....	32
3.5	Construção de espectrofotômetros para fins didáticos.....	46
4	METODOLOGIA.....	54
4.1	Questão Norteadora e Pressuposto da Pesquisa.....	54
4.2	Materiais e métodos.....	54
4.3	Construção do espectrofotômetro.....	56
4.3.1	Construção estrutural.....	56
4.3.2	Construção elétrica.....	58
4.3.3	Construção óptica/mecânica.....	58
4.3.4	Programação e aquisição de dados.....	60
4.4	Procedimento experimental.....	61
4.5	Análise de dados.....	62
4.6	Proposição de atividade experimental.....	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
5.1	Construção do espectrofotômetro.....	64
5.2	Procedimento experimental.....	68
5.3	Análise de dados.....	72
6	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS.....	77

APÊNDICE A - ROTEIRO EXPERIMENTAL PROPOSTO PARA OS DISCENTES DOS CURSOS DE FORMAÇÃO EM QUÍMICA.....	83
--	----

1 INTRODUÇÃO

Ao se tratar do ensino de Química, a educação científica e tecnológica se tornou indispensável para a completa formação dos discentes, por possibilitar a sua participação ativa frente às adversidades do processo de ensino-aprendizagem (DOS SANTOS; DE MENEZES, 2020). Nesse contexto, a experimentação é uma ferramenta educacional estratégica que vem sendo amplamente debatida nos últimos anos. Entretanto, para fins da sua implementação, é necessário superar os aspectos relacionados à atuação docente por métodos tradicionais de ensino e às percepções e dificuldades dos discentes relacionadas à Ciência Química (MADRUGA; KLUG, 2015).

Além disso, frente à Revolução Técnico-Científica-Informacional, é iminente a demanda pela formação de docentes capazes de interagir com uma geração de estudantes mais atualizada e informada. Dessa forma, o papel do educador é cada vez mais o de intermediar e orientar a construção coletiva dos conhecimentos, distanciando-se dos pressupostos da educação tradicional (OLIVEIRA *et. al.*, 2017). Entretanto, seja por falta de disciplinas experimentais na estrutura curricular dos cursos de formação docente, por falta de recursos por parte das instituições de ensino, por resistência às mudanças no campo da educação ou por falta de aperfeiçoamento profissional, os docentes tornam-se desatualizados não só em relação aos avanços da Ciência, mas também em relação às novas técnicas e metodologias de ensino (GOMES, 2016).

De outro lado encontram-se os licenciandos, que muitas vezes apresentam grande dificuldade durante a aprendizagem em Química dentro do contexto acadêmico (DUTRA *et al.*, 2022). Para Melo, Oliveira e Souza (2019) esse problema geralmente é originado no Ensino Médio, pelo fato de aspectos fundamentais à Química terem sido superficialmente abordados anteriormente ao ingresso no ambiente acadêmico. Dentro desse contexto, segundo Veiga, Quenenhenn e Cargnin (2000), destacam-se como principais dificuldades apontadas pelos estudantes: memorização de informações e fórmulas, abstração de conceitos, e compreensão e interpretação de modelos teóricos. Um fator determinante para isso é a perpetuação do ensino tradicional das Ciências, que acaba por trazer uma visão abstrata e desconexa da Química (DUTRA *et al.*, 2022).

Dessa forma, os discentes passam a ter dificuldade em enxergar uma finalidade na aprendizagem de tais conceitos e conteúdos, culminando na falta de interesse em aprender (DOS SANTOS; STANGE; DOS SANTOS, 2008). Em decorrência disso, Oliveira e colaboradores (2017) enfatizam que os cursos de Licenciatura em Química das universidades brasileiras têm passado, nas últimas décadas, por problemas relacionados ao desempenho dos seus estudantes, além de apresentarem altos índices de retenção e evasão.

Entretanto, compreendendo a necessidade de abranger os avanços da Ciência, Tecnologia e Ensino à formação docente, torna-se viável propor aplicações para o ensino de Química que despertem a curiosidade científica, a capacidade de observação aprimorada e o senso crítico apurado dos discentes (MORENO; HEIDELMANN, 2017). Pode-se ainda ir além, e pensar em estratégias que associam a experimentação ao desenvolvimento tecnológico, auxiliando os professores no exercício da prática docente. Nesse contexto, a instrumentação pode ser uma importante aliada, ressignificando os processos de experimentação, em uma abordagem tecnológica e interdisciplinar (CARVALHO, 2018).

Dessa forma, a experimentação instrumental permite a exploração de conceitos essenciais inerentes ao ensino de Química, articulando os pressupostos teóricos à aquisição, processamento e análise de dados (MELO; OLIVEIRA; SOUZA, 2019). Através dela pode-se gerar um ambiente de ensino participativo e dinâmico, contribuindo para a assimilação de conceitos, além de estimular o interesse pelo aprendizado e modificar o relacionamento com o mundo científico. Nessa perspectiva, a experimentação instrumental confere um caráter mais concreto para a Ciência, ao passo que se torna uma estratégia de ensino eficiente para estimular a investigação, elaboração de hipóteses, pensamento crítico e tomada de decisões (FERNANDES, 2020).

Contudo, essa nem sempre é uma opção viável, tendo em vista o alto custo dos equipamentos analíticos comercialmente disponíveis, a escassez de recursos nas instituições de ensino, as restrições de uso e a necessidade de manutenção especializada. Por essas questões, muitas vezes, a instrumentação é deixada de lado durante a formação docente, configurando, de certa forma, um déficit no ensino de Química (AYRES, 2019).

O desafio passa a ser, portanto, a proposição de atividades experimentais instrumentais com materiais de baixo custo. Para essa finalidade é necessário inicialmente pensar nos conceitos e fundamentos que se pretende explorar (ANDRADE; ZUIN, 2021). Em se tratando de um ambiente acadêmico, a espectrofotometria constitui-se de uma boa alternativa, por ser um conteúdo interdisciplinar, muitas vezes considerado de difícil compreensão quando explanado a partir de métodos convencionais de ensino, que aborda diversos conceitos essenciais à Física e à Química (OLIVEIRA; LEITE, 2016).

Isso nos leva ao seguinte questionamento: como inserir a experimentação em aulas de Química, no contexto acadêmico, utilizando um recurso instrumental de baixo custo, no processo de ensino e aprendizagem de conceitos relacionados à espectrofotometria?

Uma resposta para essa pergunta poderia ser pensada através de um planejamento interdisciplinar que envolva os princípios físico-químicos do funcionamento de um espectrofotômetro, as particularidades da eletrônica e informática diretamente associadas ao equipamento e a sua construção utilizando materiais alternativos, visando a proposição de práticas instrumentais em instituições que não possuem espectrofotômetros comerciais (FERREIRA, 2019).

Dentre as tecnologias existentes que podem ser adaptadas para essa finalidade destacam-se os microcomputadores e *softwares* de controle e aquisição de dados (SILVA; LAIDENS, 2000; POSTIGO *et al.*, 2021). Nesse sentido, um exemplo de ferramenta de Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) é o Arduino, uma espécie de microcomputador simples e barato, capaz de controlar sensores e gerar dados com certa precisão (SALOMÃO, 2020). Tal ferramenta já é amplamente utilizada em espaços de ensino, pois constitui de uma base instrumental capaz de permitir variadas possibilidades metodológicas. Laudares e colaboradores (2014) enfatizam este aspecto dizendo que o Arduino é um facilitador para o desenvolvimento de experimentos e metodologias destinados ao ensino de Ciências da Natureza.

Face ao que foi apresentado, e compreendendo as vantagens e desafios da inclusão da instrumentação em um contexto acadêmico, a presente pesquisa se preocupa em tornar viável a análise instrumental através da construção de um espectrofotômetro de baixo custo que pode vir a ser utilizado em, mas não se restringindo a, atividades experimentais de cursos de formação docente em Química,

com intuito de facilitar a compreensão de discentes acerca do funcionamento desse equipamento e dos conceitos químicos associados a ele.

Nos tópicos subsequentes serão apresentados os objetivos que concernem a pesquisa, seguidos da fundamentação teórica acerca dos pontos relevantes a serem levados em consideração para o planejamento, execução e discussão do trabalho. Em seguida serão explanados os métodos que foram necessários à sua aplicação prática e os resultados oriundos deles. Por fim, será apresentada a conclusão do estudo, que será posteriormente finalizado na seção de referências bibliográficas.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Construir um espectrofotômetro visível de baixo custo aplicável ao ensino de Química.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a viabilidade do uso do espectrofotômetro para mediação do ensino de Química experimental instrumental
- Fomentar atividades experimentais com foco na contextualização da análise espectrofotométrica para construção de conceitos associados à interação da radiação eletromagnética com a matéria

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Diferentes concepções teórico-metodológicas da experimentação

Desenvolver estratégias para a melhoria do ensino de Química é uma questão amplamente discutida entre autores da área do Ensino de Química (ROSITO, 2008; MADRUGA; KLUG, 2015). Nesse contexto, segundo Rosito (2008), a utilização da experimentação é considerada essencial à aprendizagem científica. Entretanto, ainda que seja apontada como uma estratégia didática capaz em auxiliar o processo de ensino-aprendizagem, se faz necessário pensar na intencionalidade da prática experimental (MADRUGA; KLUG, 2015).

Nesse contexto, a concepção de ensino e aprendizagem do docente influencia diretamente sobre a proposta da experimentação, que pode então possuir caráter demonstrativo, empírico-indutivista, dedutivo-racionalista ou construtivista (ROSITO, 2008). O primeiro deles se baseia na demonstração de verdades estabelecidas, trazendo, por um lado, a credibilidade à Ciência, mas por outro, impossibilitando a compreensão da sua construção e visualização do seu todo (ROSITO, 2003). De maneira análoga, na visão empírico-dedutivista, a experimentação deve seguir as regras do método científico advindo da observação. Sendo assim, há uma desvalorização da criatividade, ao mesmo tempo que os resultados experimentais são vistos como verdades definitivas, inquestionáveis e irrefutáveis (ROSITO, 2003).

Dentro da visão empírico-dedutivista, a experimentação possui o intuito de melhorar o aprendizado de conteúdos e conceitos científicos, qualitativa e quantitativamente, aplicando-os (MADRUGA; KLUG, 2015). Nesse modelo, uma característica importante é a proposição de atividades demonstrativas, que, segundo Silva, Machado e Tunes (2010, p. 245) “são aquelas em que o professor apresenta, durante as aulas, fenômenos simples a partir dos quais ele poderá introduzir aspectos teóricos que estejam relacionados ao que foi observado”.

Por outro lado, a visão construtivista se preocupa em organizar as atividades experimentais tendo como base os conhecimentos prévios dos estudantes, a fim de propor experimentos na forma de problemas ou testagem de hipóteses. Segundo

Rosito (2003), nessa concepção, o conhecimento é entendido como construído ou reconstruído pela estrutura de conceitos já existentes, sendo mais significativa para a aprendizagem do aluno por se tratar de investigação e não apenas de ilustração (MADRUGA; KLUG, 2015). Dessa forma, o caráter construtivista da experimentação preconiza a discussão e o diálogo, juntamente à ação e reflexão (ROSITO, 2003).

Logo, a experimentação construtivista se vale da interação entre vários aspectos, sendo eles, segundo Madruga e Klug (2015, p. 66), “a observação, o levantamento de hipóteses e conjecturas e o desenvolvimento de habilidades e competências, que resultam em uma postura crítica e autônoma”. Dessa forma, proporciona-se uma visão da Ciência como atividade complexa, que é construída socialmente e que não se vale de um método universal, mas de uma interação dinâmica e constante. (MADRUGA; KLUG, 2015). Partindo desse pressuposto, as atividades experimentais têm por fundamento a contextualização e a solução de problemas da realidade dos alunos, sendo capazes de gerar conflitos cognitivos entre o que o já se sabe e o que se busca saber (MALHEIRO, 2016).

Dessa forma, o docente adepto à vertente construtivista da experimentação possui perfil questionador e pesquisador, refletindo constantemente sua prática pedagógica. Em aulas de experimentação investigativa, o professor age através da problematização da interação dos estudantes, que investigam, resolvem problemas, discutem, criam, questionam, comparam e perguntam (VIEIRA; SILVA, 2016). Por essa razão, os objetivos das aulas experimentais devem ser claros, e sua finalidade deve ser a de auxiliar na formação de estudantes agentes da sua própria aprendizagem (BINSFELD; AUTH, 2011). Dentro dessa vertente, Júnior e colaboradores (2008, p. 40) expressam que “como estratégia de ensino, a experimentação deve ser problematizadora do conhecimento” e que “é no diálogo da realidade observada, na problematização e na reflexão crítica de professores e estudantes que se faz o conhecimento”.

Se valendo dessa visão construtivista, é possível pensar a experimentação a partir de metodologias ativas, que objetivem tirar o estudante da passividade e trazê-lo para o centro do seu próprio processo de ensino-aprendizagem (PAIVA; PARENTE; BRANDÃO, 2016). O tópico a seguir traz um resumo do que são metodologias ativas

de ensino e como podem estar associadas à experimentação para o ensino de Química.

3.2. Metodologias ativas e sua aplicação na experimentação para o ensino de Química

O distanciamento do foco educacional dos métodos tradicionais de ensino eclodiu no século XVIII juntamente às revoluções liberais europeias. A partir desses movimentos sociais as escolas pedagógicas passaram a avaliar criteriosamente as limitações do processo de ensino-aprendizagem tradicional. Com isso, John Dewey apresentou uma nova filosofia pedagógica conhecida como Escola Nova, que se fundamentava em uma aprendizagem pautada na busca ativa de conhecimento por parte do aluno (LOVATO *et al.*, 2018).

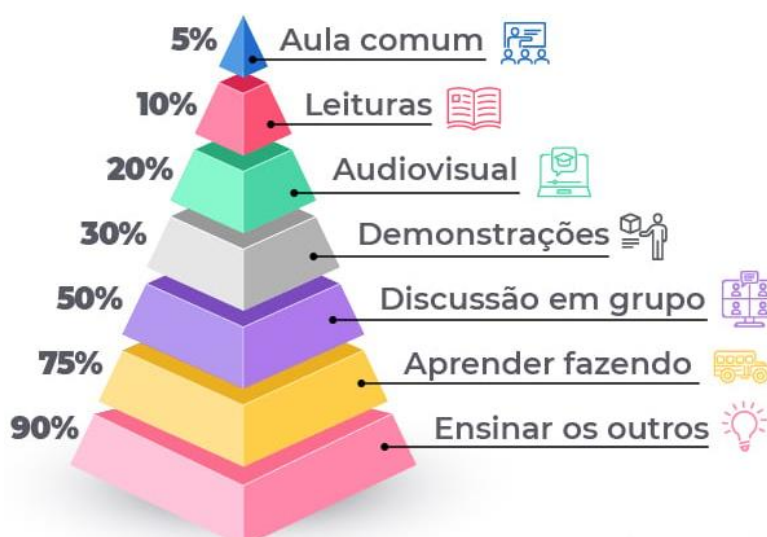
Nesse sentido, a pedagogia de Dewey é considerada o alicerce para o que hoje denomina-se “metodologias ativas” (LOVATO *et al.*, 2018). Estas, segundo Paiva, Parente e Brandão (2016, p. 2), consistem de técnicas que “rompem com o modelo tradicional de ensino e fundamentam-se em uma pedagogia problematizadora, na qual o aluno é estimulado a assumir uma postura ativa em seu processo de aprender, buscando a autonomia do educando e a aprendizagem significativa”.

Para esses autores, ambos, método de ensino e conteúdo da aprendizagem, possuem igual importância no contexto educacional, sendo, por essa razão, necessária a constante avaliação das vantagens e desvantagens de determinada abordagem educacional, concomitantemente à proposição de novas metodologias de ensino-aprendizagem aprimoradas (PAIVA; PARENTE; BRANDÃO, 2016). Nesse sentido, trazem em seu trabalho que “[...] enquanto os conteúdos do ensino informam, os métodos de ensino formam” (BORDENAVE, PEREIRA, 1995 apud PAIVA; PARENTE; BRANDÃO, 2016, p.147).

Nesse sentido, é importante mencionar o proposto por William Glasser na sua denominada “pirâmide de aprendizagem”, vide Figura 1. Para Glasser, a eficácia do processo de aprendizagem pode ser disposta em termos de uma pirâmide seccionada. O topo dela consiste na leitura, representando 10% da nossa aprendizagem sobre determinado conteúdo, seguida do que escrevemos (20%), do

que vemos (30%) e do que escutamos e vemos ao mesmo tempo (50%). As partes intermediárias da pirâmide consistem no ato de discutirmos sobre determinado tema (70%), seguido do ato de exercitarmos o que aprendemos por meio de atividades de fixação do conteúdo (80%). Por fim, a sua base diz respeito à ação de ensinarmos a alguém o conteúdo que é o objeto da nossa própria aprendizagem (95%) (DA SILVA; MUZARDO, 2018).

Figura 1: Pirâmide da aprendizagem de Glasser



Fonte: Adaptado de Younder, (2022).

Levando em consideração a pirâmide de Glasser, ao discutirmos, exercitarmos e ensinarmos o conteúdo, participamos de um processo de estudo ativo, no qual praticamos ações como: perguntar, refletir, debater, definir, interpretar, revisar, identificar, diferenciar, explicar, resumir, estruturar, definir e elaborar. Dessa forma, as ideias de Glasser corroboram as de Paiva, Parente e Brandão (2016), de que quando o estudante assume um lugar mais ativo em seu próprio processo dinâmico de ensino-aprendizagem, esse processo é otimizado.

É importante enfatizar que, embora as metodologias ativas se relacionem intrinsecamente ao protagonismo do educando, estas não são uniformes em relação aos pressupostos teóricos e metodológicos que as fundamentam (PAIVA; PARENTE, BRANDÃO, 2016).

Moran (2018) reforça essas questões levantadas por Paiva, Parente e Brandão (2016) e acrescenta que há comumente uma confusão entre “metodologias ativas” e “ativismo”. Segundo o autor, esse último diz respeito à proposição de grande número de atividades diferenciadas, e que nesse caso há constantemente uma valorização maior dos produtos gerados a partir dessas atividades, como as produções de equipamentos, vídeos e aplicativos digitais, do que da reflexão, leitura e aprofundamento conceitual acerca do que está sendo produzido (MORAN, 2018).

Nesse contexto, Moran (2018) reforça que a implementação de metodologias ativas vai além das tarefas propostas e produções realizadas, e que atividades práticas sem reflexão adequada podem culminar em aprendizagem superficial e desenvolvimento insuficiente de habilidades e competências essenciais à sua aplicação. Dessa forma, o autor ainda pontua que não é suficiente planejar a implementação dessas metodologias de maneira isolada, mas sim que se faz necessária uma minuciosa avaliação do educador acerca de qual metodologia ativa utilizar, avaliando sua própria intencionalidade de aplicação em um contexto de mudança estruturada e sistêmica.

Diante do exposto torna-se claro que a implementação eficaz de metodologias ativas em toda a sua conjectura, dependem inicialmente da escolha adequada de qual delas utilizar, devendo essa ser pautada em objetivos claros de aprendizagem, além de ser planejada de forma estruturada e organizada, visando o processo de ensino-aprendizagem como um todo (GEMIGNANI, 2013). Nesse sentido, em se tratando da experimentação para o ensino de Química, algumas alternativas de cunho colaborativo podem ser pensadas, como sala de aula invertida, instrução por pares, gamificação, aprendizagem baseada em problemas e aprendizagem baseada em projetos (BRANDÃO, 2022).

A sala de aula invertida é uma metodologia ativa que se baseia na inversão da lógica das aulas. Nela, o professor apresenta brevemente aos estudantes o conteúdo a ser abordado, e cabe a eles o ato de pesquisar e estudar de maneira autônoma, levando para a sala de aula apenas dúvidas a serem sanadas (PAIVA; PARENTE; BRANDÃO, 2016). Além disso, a sala de aula invertida pode também ser adaptada como uma modalidade de *e-learning* (“aprendizagem eletrônica”), com o conteúdo e instruções sendo repassados aos alunos de forma online, e mantendo os encontros presenciais para o desenvolvimento de atividades cooperativas ou para a realização

de atividades práticas, como a experimentação em laboratório, por exemplo (MORAN, 2019).

Esse modelo de metodologia ativa geralmente está associado ao ensino de ciências humanas e da saúde, como pode ser visto na revisão integrativa elaborada por Paiva, Parente e Brandão (2016), entretanto, a sua aplicação é possível em qualquer componente curricular de qualquer área do conhecimento. Segundo o estudo deles, algumas das vantagens da sala de aula invertida são o maior aproveitamento do tempo dos encontros presenciais, o maior engajamento dos estudantes e sua construção de senso de responsabilidade sobre seu próprio processo de ensino-aprendizagem. Por outro lado, constituem desafios à implementação desse modelo de ensino a autodisciplina necessária por parte dos estudantes e os recursos pedagógicos necessários fora do ambiente escolar (a exemplo do computador e internet) (PAIVA; PARENTE; BRANDÃO, 2016).

Uma outra metodologia ativa aplicável à experimentação para o ensino de Química é a instrução por pares. Nela, pares de alunos são estimulados a trocar saberes entre si, assumindo a responsabilidade pelo ensino um do outro. Através de um roteiro experimental, por exemplo, respostas ou resultados divergentes podem ser confrontados entre alunos, através de discussões produtivas promovidas e norteadas pelo professor (MORAN, 2018).

Dessa forma, algumas das habilidades a serem desenvolvidas através dessa metodologia são o engajamento, disponibilidade para escuta, poder de argumentação e elaboração de pensamento sistematizado. Por outro lado, essa é uma estratégia que demanda considerável tempo de aula, além de poder surtir um efeito não desejado, uma vez que os estudantes podem facilmente se distrair do objetivo da aula por estarem dialogando com seus próprios colegas (MORAN, 2018).

Partindo para uma abordagem um pouco mais lúdica, tem-se a gamificação. Essa metodologia ativa busca trazer jogos didáticos para o ambiente escolar, promovendo a aprendizagem através da interatividade dos estudantes com esses recursos didáticos. No contexto da experimentação, existem diversas ferramentas online disponíveis que podem ser utilizadas. Dentre elas, é possível citar não só sites que trazem verdadeiros laboratórios virtuais com experimentos interativos, mas também plataformas colaborativas de jogos educativos que podem ser utilizadas

durante a experimentação presencial em laboratório ou em um contexto remoto (LUCENA; DOS SANTOS; DA SILVA, 2013).

Dentre as vantagens dessa metodologia tem-se o habitual alto índice de engajamento dos estudantes e *feedback* imediato sobre o progresso na aprendizagem. Por outro lado, quando não planejada e aplicada de maneira inadequada, a abordagem via gamificação pode trazer como desvantagens o senso de competitividade exacerbado entre os estudantes, além da falta de propósito educacional pela aplicação de jogos sem fins didáticos (LUCENA; DOS SANTOS; DA SILVA, 2013).

Indo adiante, talvez uma das metodologias ativas mais abordadas na literatura científica seja a aprendizagem baseada em problemas. Segundo Moran (2018), esse processo pode ser resumido nas seguintes etapas: apresentação e definição do problema, tentativa de solução do problema através de conhecimento prévio (de base), discussão e questionamentos acerca dos pontos não compreendidos, planejamento da investigação desses pontos, investigação, exploração dos pontos levantados após investigação, avaliação do processo e autoavaliação. Durante essa abordagem, o professor age como facilitador, direcionando os processos cognitivos sem dar respostas diretas aos questionamentos dos estudantes, em um processo que se faz de maneira autorreflexiva e autodirigida (MORAN, 2018).

Uma outra metodologia ativa que se confunde à anterior é a aprendizagem baseada em projetos. Segundo Ferrarini, Saheb e Torres (2019), essa se destaca por se tratar de uma abordagem aprimorada da primeira. Moran (2018) afirma que a aprendizagem baseada em projetos parte de problemas ou situações que objetivam gerar dúvidas seguidas de desequilíbrios cognitivos capazes de despertar fortes motivações práticas na busca por soluções criativas.

Logo, torna-se clara a aproximação dessa metodologia à teoria piagetiana da equilíbrio e desequilíbrio cognitiva. Para Piaget, a capacidade de conhecer é construída pelo indivíduo a partir de desequilíbrios com o meio, exigindo de si mesmo adaptações que o permitam reequilibrar-se. Dessa forma, a evolução do conhecimento se dá por meio do confronto provocado por essas situações de desequilíbrio seguidas de reequilíbrio (DA SILVA, 2021).

“Dê aos estudantes algo para fazer, não algo para aprender; e o ato de fazer é como o incentivo por pensar; a aprendizagem resulta naturalmente” (DEWEY, 1916, p. 191).

Nesse contexto, Mitre *et al.* (2008, p. 2140) apontam como principais aspectos dessa metodologia ativa “(1) a aprendizagem significativa; (2) a indissociabilidade entre teoria e prática; (3) o respeito à autonomia do estudante; (4) o trabalho em pequeno grupo; (5) a educação permanente; (6) a avaliação formativa”. Trazendo para a experimentação em Química, a aprendizagem baseada em projetos pode ser implementada a partir da proposição de um projeto construtivo, ou seja, que vise uma solução nova para um problema ou situação experimental pré-determinado, ou que vise a construção de algo inovador. Exemplificando esse último tópico tem-se a associação das diversas áreas da Química à experimentação, às tecnologias e à análise instrumental (MORAN, 2019).

3.3. Análise instrumental na formação em Química

A instrumentação analítica teve seu início na década de 1940, porém seu efetivo crescimento veio associado ao avanço da eletrônica, nas décadas de 1950 e 1960. No início da década de 60, com o advento da ciência da informação, a instrumentação assumiu uma progressão exponencial, pela popularização dos microcomputadores e seus softwares de controle e aquisição de dados (POSTIGO *et al.*, 2021). Tais avanços tecnológicos contribuíram para que as técnicas analíticas instrumentais se destacassem nos últimos anos (SOUSA *et al.*, 2018).

Partindo para o âmbito acadêmico, Arroio e colaboradores (2006) afirmam que existe uma crescente necessidade no uso de metodologias alternativas para o ensino. Entretanto, a literatura científica brasileira pouco retrata sobre a importância da instrumentação analítica no currículo acadêmico, e, ainda menos, em se tratando da formação de licenciandos em Química. Nesse sentido, a maioria das publicações relacionadas ao ensino de Química experimental foca em trazer as contribuições das análises clássicas, em detrimento das análises instrumentais, como retratado no trabalho de Andrade e Alvim (2009).

Entende-se que essa escassez de estudos esteja associada aos desafios atrelados à implementação de disciplinas instrumentais nos currículos dos cursos de graduação. Esses componentes curriculares possuem como objetivo apresentar os instrumentos analíticos de medição, seu funcionamento e manuseio, bem como a função de suas diferentes partes e suas aplicabilidades na determinação de espécies químicas (SEFSTROM, 2011). Entretanto, principalmente devido ao alto custo associado aos equipamentos comercialmente disponíveis, atualmente, grande parte dos recursos instrumentais são apresentados aos estudantes apenas na forma de figuras ou vídeos (DUTRA *et al.*, 2022).

Por essa razão, a compreensão e assimilação dos discentes pode ser dificultada, uma vez que a demonstração é limitada a recursos audiovisuais que acabam por não sanar todas as dúvidas, ou ainda, não demonstrar como realmente são todas as partes que compõem esses instrumentos (SEFSTROM, 2011). Dessa forma, os estudantes podem passar a vê-los como “caixas pretas”, compostas de circuitos, peças mecânicas e softwares, que pouco se aproximam da sua realidade e que retornam dados e espectros complexos e de difícil interpretação (DUTRA *et al.*, 2022).

Entretanto, em resposta às questões relacionadas à falta de recursos para implementação da experimentação no currículo, Madruga e Klug (2015) reforçam que as habilidades necessárias para o desenvolvimento do espírito investigativo nos alunos, não estão associadas a laboratórios modernos e equipamentos sofisticados. Além disso, os autores complementam que, em muitos momentos, experimentos com materiais e recursos alternativos podem levar os estudantes a importantes descobertas. (MADRUGA; KLUG, 2015).

Nesse contexto, é preciso superar a ideia de que a falta de laboratórios ou de recursos justifica o ensino através do uso exclusivo do livro didático e compreender que o método tradicional de ensino é limitado em relação à análise instrumental (MADRUGA; KLUG, 2015). Sendo assim, cabe ao professor e aos estudantes a proposição de instrumentos e experimentos no âmbito da análise experimental instrumental que tenham como intencionalidade o ensino de conteúdos e conceitos intrínsecos à Química (DIAS *et al.*, 2016).

Dessa forma, é possível viabilizar não apenas a análise instrumental no ambiente acadêmico, bem como auxiliar no processo de ensino-aprendizagem ao passo que professor e estudante, em conjunto, planejam e propõem a construção e realização de experimentos, partindo de uma abordagem coparticipativa, interdisciplinar e criativa. Portanto, a fim de possibilitar a construção ou ressignificação de conceitos relacionados à Química, a utilização de metodologias ativas associadas à análise experimental instrumental, tais como as apresentadas anteriormente, pode ser um excelente recurso.

3.4. Aspectos relevantes da espectrofotometria para o ensino de Química

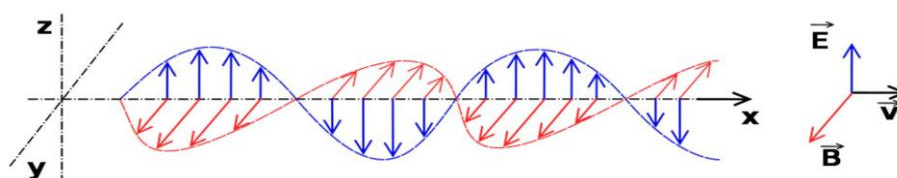
As técnicas de análise química instrumental podem ser agrupadas em três grandes áreas: Cromatografia, Eletroquímica e Espectroscopia, cada uma delas caracterizando-se por seus aspectos físico-químicos e pelas espécies químicas de interesse (analitos) passíveis de detecção e/ou quantificação (VAZ JUNIOR, 2010). Nesse sentido, a espectroscopia é a parte da Química que se preocupa em estudar a interação entre a radiação eletromagnética e a matéria, ao passo que a espectrometria é o método quantitativo utilizado para adquirir uma medida através de um espectro (representação bidimensional da energia da interação *versus* comprimento de onda). Quando os princípios da espectroscopia e espectrometria se interligam, tem-se a espectrofotometria (LEMES; SILVA; VARGEM, 2017).

Tendo em vista o objeto de estudo da espectrofotometria, radiação, por definição, é o processo físico de emissão e propagação de energia por meio de partículas ou ondas eletromagnéticas (Figura 2). Ondas, por sua vez, são perturbações que se deslocam no espaço com transporte exclusivo de energia, sendo as ondas eletromagnéticas formadas pelas oscilações perpendiculares de campos elétricos e magnéticos variáveis, cuja direção da propagação também é perpendicular a ambos (YAMASOE; CORRÊA, 2016).

Embora tenha sido o cientista escocês James Clark Maxwell a propor pela primeira vez a existência de ondas eletromagnéticas, unificando as Leis de Coulomb, Ampère, Faraday e Lenz, enunciando o que hoje se conhece como Leis de Maxwell,

foi apenas cerca de 20 anos depois que o cientista alemão Heinrich Hertz comprovou experimentalmente a sua existência (YAMASOE; CORRÊA, 2016).

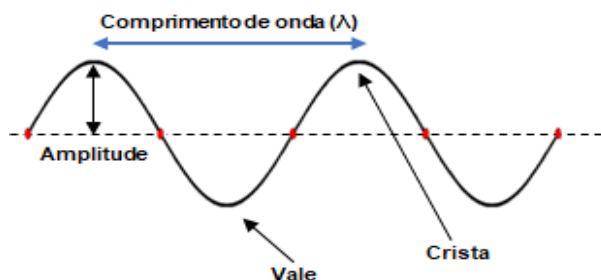
Figura 2: Esquematização de uma onda eletromagnética. O vetor $\vec{E}$ representa o campo elétrico, $\vec{B}$ o campo magnético e $\vec{v}$ a velocidade de propagação da onda (velocidade da luz no vácuo).



Fonte: Adaptado de Rodrigues e Brizola (2019).

As ondas, de maneira geral, são formadas por cristas e vales, e podem ser estudadas segundo alguns parâmetros (Figura 3). A distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio/centro do movimento é denominada amplitude (A), já o intervalo de tempo correspondente a uma oscilação completa da fonte que produz a onda é denominado de período (T). Por outro lado, o comprimento de onda (λ) corresponde à distância entre duas cristas sucessivas e progressivas, e a frequência (ν) representa o número de oscilações completas que uma onda faz a cada segundo (LIMA *et al.*, 2018).

Figura 3: Parâmetros de uma onda.



Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2018).

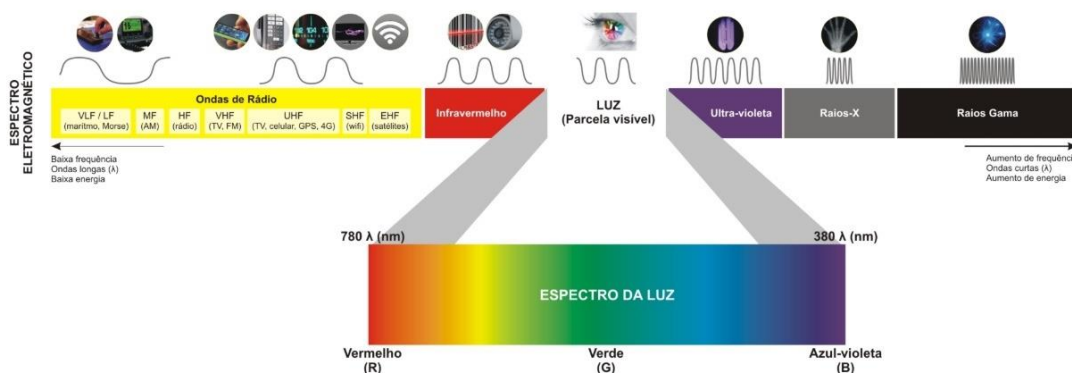
Além disso, a velocidade de propagação (c) de uma onda pode ser determinada, e, para aquelas de natureza eletromagnética, corresponde à velocidade da luz no vácuo. Esta, por sua vez, foi definida como a velocidade máxima possível de transporte no universo, segundo a Teoria da Relatividade da Física Moderna (TRFM), proposta por Albert Einstein baseando-se nas teorias das ondas eletromagnéticas da Física Clássica de Maxwell (ALMEIDA *et al.*, 2022).

Se valendo dos conceitos da Mecânica Clássica, a luz foi alvo de uma famosa experiência realizada por Isaac Newton, em 1666. Ao atravessar um feixe de luz branca, proveniente do Sol, em um prisma de vidro, a luz se decompunha, formando uma espécie de arco-íris. Por outro lado, ao utilizar um segundo prisma em conexão com a luz decomposta, o cientista observou que esta voltava à forma de luz branca. A partir desses resultados, Newton assumiu que a luz consistia de um fluxo ordenado de diversas partículas de cores diferentes, explicando os fenômenos de reflexão e refração de acordo com a denominada teoria corpuscular (KELLY; ROCHA; GERMANO, 2017).

Entretanto, a luz visível não é o único tipo de radiação eletromagnética existente, mas sim é apenas a porção visível ao olho humano que é parte integrante do espectro eletromagnético. Esse, por sua vez, é conceituado como a distribuição de energia, ou fluxo de energia irradiada, por intervalo de frequência. Dessa forma, o espectro eletromagnético apresenta diferentes faixas espectrais, sendo elas em

ordem decrescente de frequência: raios gama, raios x, ultravioleta, luz visível, infravermelho, microondas e ondas de rádio (Figura 4) (DA SILVA; MACEDO, 2016).

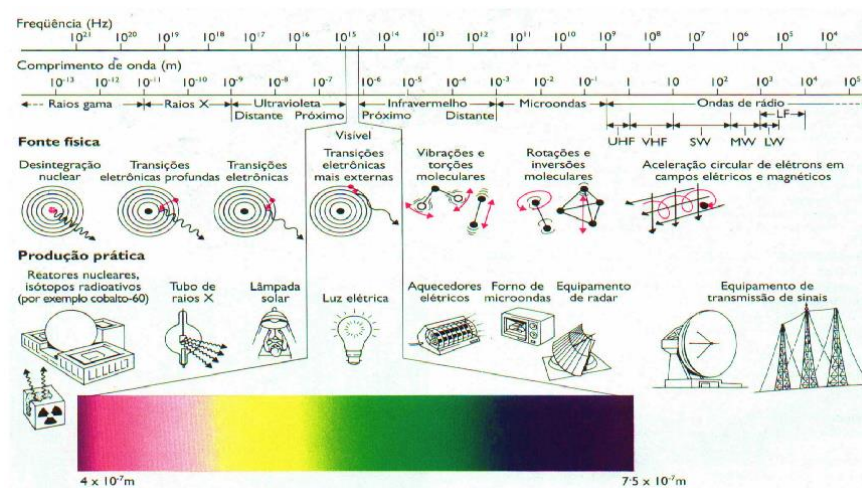
Figura 4: Espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de Estudo da Cor (2022).

Para a espectroscopia, as regiões do espectro eletromagnético de maior interesse são a região do infravermelho (IV), visível (Vis) e ultravioleta (UV), isso porque a maior parte dos átomos e moléculas são capazes de interagir com a radiação eletromagnética nos comprimentos de onda relacionados a essas faixas de frequência. Entretanto, as demais faixas do espectro eletromagnético também são de importância para o estudo da radiação com a matéria. Nesse sentido, a Figura 5 traz os tipos de excitações provocadas por faixa de frequência.

Figura 5: Tipos de excitações provocadas por porção do espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de Fonseca (2019)

Os fenômenos mais comuns que podem ocorrer pela interação da radiação eletromagnética são: efeito Rayleigh (espalhamento coerente), que corresponde à absorção e reemissão da radiação pelo átomo em uma direção diferente de sua incidência; efeito fotoelétrico, em que a radiação é absorvida pelo átomo e um elétron é liberado para se mover no material; efeito Compton (espalhamento inelástico), que corresponde ao espalhamento da radiação por um elétron livre do meio; produção de pares elétron-pósitron, em que a radiação é absorvida e toda sua energia é convertida em massa de repouso e energia cinética de um par partícula/antipartícula (SÁ *et al.*, 2016).

Dentre os fenômenos ópticos observáveis a partir dessas interações destacam-se: transmissão, reflexão e absorção (DE SOUZA; CASTRO; CAMPOS, 2020). Reflexão é o processo pelo qual a radiação eletromagnética é retornada na “fronteira” entre dois meios (reflexão de superfície) ou no interior de um meio (reflexão de volume), enquanto a transmissão é a passagem da radiação eletromagnética através de um meio. Ambos os fenômenos podem ser acompanhados por difusão, que é o processo de desviar um feixe unidirecional em várias direções (reflexão/transmissão difusa). Quando não ocorre difusão, a reflexão ou transmissão de um feixe unidirecional resulta, também, em um feixe unidirecional (reflexão/transmissão regular). Os fenômenos de reflexão e transmissão não alteram

a frequência da radiação, com exceção do que é possível observar pelo efeito Doppler, no qual há mudança na frequência quando o material ou superfície refletora está em movimento (DE SOUZA; CASTRO; CAMPOS, 2020).

A absorção, por outro lado, é a transformação de radiação em outro tipo de energia, geralmente térmica, através da interação da luz com a matéria. Esse fenômeno depende da frequência da radiação incidente e da natureza dos elétrons constituintes dos átomos do material. De maneira mais aprofundada, todos os elétrons vibram em um estado energético chamado de "fundamental", podendo ser promovidos para estados de maior energia (estados excitados), a depender da radiação incidente. Ou seja, quando a luz incide sobre eles em uma frequência correspondente à lacuna energética entre o estado fundamental e o estado excitado, há uma transição eletrônica entre eles devido à absorção de energia (DE SOUZA; CASTRO; CAMPOS, 2020).

Nesse sentido, embora a teoria das ondas eletromagnéticas da Mecânica Clássica de Maxwell tenha grande importância na introdução do tema espectrofotometria, essa por si só é ineficiente em explicar a interação da luz com a matéria em nível microscópico, conforme sumarizada no parágrafo anterior. Para tal, torna-se necessário aprofundar conceitos relacionados à Mecânica Quântica, nos quais a dualidade onda-partícula da radiação eletromagnética é levada em consideração.

O desenvolvimento da teoria quântica possibilitou esclarecer muitas questões, as quais a Mecânica Clássica e o Eletromagnetismo não tiveram êxito ao explicar, sendo algumas delas a natureza da luz, os espectros de corpo negro e o espectro de absorção do hidrogênio. Quando a luz se propaga no espaço, observa-se um comportamento de onda, entretanto, ao incidir sobre uma superfície, os fenômenos observados sugerem o comportamento de uma partícula. Dessa forma, a dualidade onda-partícula é uma propriedade inerente da natureza quântica da luz (ROCHA; DE CARVALHO; FELÍCIO, 2020).

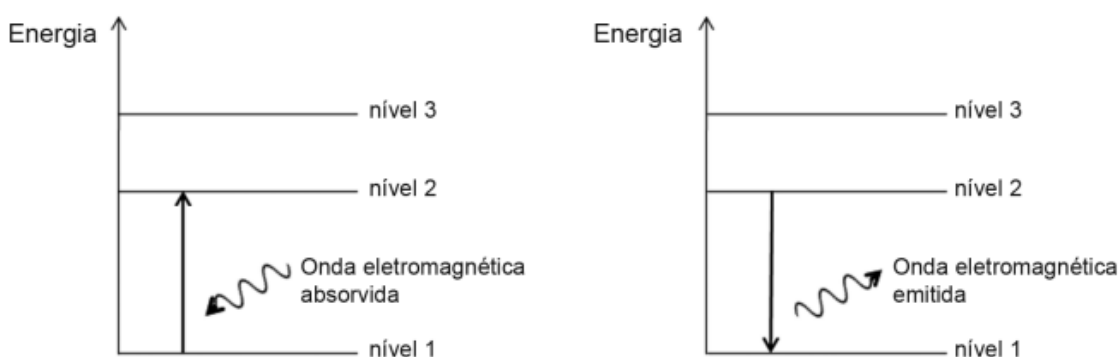
Sendo assim, um feixe de luz é composto por uma onda que se move como um conjunto matemático de partículas. Para Maxwell, qualquer quantidade de energia poderia ser emitida ou absorvida continuamente por um corpo, enquanto para a teoria

quântica de Planck a radiação é “quantizada”, e as partículas de luz são chamadas de fótons, que correspondem ao equivalente a “pacotes” de energia (LIMA; CAVALCANTI; OSTERMANN, 2020).

Dessa forma, Planck restringiu a energia apenas a valores específicos através de seu modelo matemático, introduzindo a chamada constante de Planck (h). Sendo assim, através da teoria quântica, entende-se que para uma dada frequência, pode existir somente um valor de energia quântica para os fótons associados a ela; além de que os níveis de energia dos átomos e moléculas podem assumir somente certos valores discretos (LIMA; CAVALCANTI; OSTERMANN, 2020).

Levando isso em consideração, a absorção de luz ocorre se a energia do fóton corresponde à lacuna de energia entre os estados excitado e fundamental. Logo, o fóton, na verdade, é o responsável por induzir uma transição eletrônica entre esses estados. Após esse processo os elétrons podem ser atraídos de volta para seu núcleo devido à força eletromagnética. Quando isso acontece, ocorre o efeito relacionado à emissão atômica, no qual um fóton é emitido pelo átomo (DORSCH; GUIO, 2021), processo esse exemplificado pela Figura 6.

Figura 6: Diagrama de níveis de energia, retratando o fóton absorvido/emitado.



Fonte: Adaptado de Leite e Prado (2012).

Tendo em vista os processos de absorção e emissão, a energia do fóton é correspondente à frequência da radiação, e pode ser calculada a partir da seguinte relação:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Em que:

E_1 = energia do estado fundamental,

E_2 = energia do estado excitado,

ΔE = variação de energia entre estados,

h = constante de Planck,

ν = frequência,

c = velocidade de propagação da luz no vácuo, e

λ = comprimento de onda.

De maneira mais aprofundada, a nível molecular, as espécies químicas em solução capazes de absorver luz na região do UV-Vis são denominadas de grupos cromóforos (Figura 7). Esses são essencialmente grupamentos funcionais orgânicos insaturados presentes em analitos, responsáveis pelos máximos de absorção observados no espectro de diferentes substâncias (PAZINATO, 2021).

Figura 7: Alguns grupos cromóforos e seus respectivos comprimentos de onda de máxima absorção.

Nome	Cromóforo	Solvente	λ_{max} (nm)
Aromático	Núcleo benzênico	n-hexano	204 256
Alceno	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$	n-heptano	177
Alceno conjugado	$\text{CH}_2=\text{CHCH}=\text{CH}_2$	n-heptano	217
Alcino	$\text{C}_3\text{H}_5\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$	n-heptano	178 196
Amido	$\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$	Água	225
Azo	$\text{CH}_3\text{N}=\text{NCH}_3$	Etanol	214 339
Carbonil	$\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{CH}_3$	n-hexano	186
	$\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{CH}$	n-hexano	280 180 293
Carboxil	CH_3COOH	Etanol	204
Nitro	CH_3NO_2	Iso-octano	280
Nitroso	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}$	Éter etílico	300
Nitrato	$\text{C}_6\text{H}_5\text{ONO}_2$	Dioxano	270

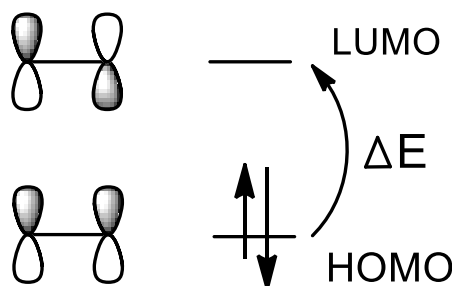
Fonte: Adaptado de Skoog, West Holler e Crouch (2006).

Conforme mencionado, a absorção da radiação envolve transições eletrônicas, que dependem por sua vez do número e do arranjo dos elétrons da camada de valência nas moléculas. Os grupos cromóforos contêm insaturações com elétrons de valência de energia de excitação relativamente baixa, que participam das duplas ligações da molécula. Pensando na Teoria do Orbital Molecular (TOM), as ligações duplas são formadas por um orbital sigma (σ) e um orbital (π), e a transição eletrônica durante a absorção da radiação eletromagnética ocorre de modo que o elétron que está no orbital π -ligante é excitado e passa a ocupar o orbital π -antiligante, de maior energia (PAZINATO, 2021).

Tais orbitais são denominados de HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*), que corresponde ao orbital molecular ocupado de mais alta energia, e LUMO (*Lowest Unocupied Molecular Orbital*), que corresponde ao orbital molecular desocupado de mais baixa energia, respectivamente. O *gap* de energia entre eles é correspondente à energia necessária para que a transição eletrônica ocorra, tal como ilustrado na Figura 8. Sabendo que a conjugação (ligações duplas e simples alternadas) está associada à quantidade de orbitais moleculares formados, é possível compreender que quanto maior esse efeito sobre uma molécula, menor é o *gap* de energia entre estados. Nesse sentido, estando a energia relacionada ao comprimento

de onda, pela Equação 1, quanto menor é o *gap*, maior é o comprimento de onda requerido para a transição.

Figura 8: Representação dos orbitais moleculares HOMO e LUMO, e o *gap* de energia entre eles (ΔE).



Fonte: Elaboração própria (2022).

Ao pensar esses fenômenos frente à espectroscopia atômica, tem-se espectros em linhas, enquanto na espectroscopia molecular os espectros são de bandas mais alargadas. A sobreposição dos espectros atômicos de absorção e emissão é possível, pois todas as linhas não absorvidas são necessariamente transmitidas pelo átomo, e a energia de transição de absorção é igual à energia de transição de emissão.

Entretanto, para os espectros moleculares essa sobreposição não é possível, pois estes apresentam grau de complexidade muito mais elevado, e as energias de transição diferem entre os fenômenos de absorção e emissão. Na realidade, o que ocorre com os espectros moleculares é uma relação espelhada, uma vez que estão associados não só às transições eletrônicas entre estados energéticos, como também às transições vibracionais dentro de um mesmo estado. Além disso, a geometria e solvatação também influenciam sobre os espectros moleculares, uma vez que a maioria deles é obtido a partir de analitos em solução (MUSTROPH, 2016).

Em se tratando ainda da espectrofotometria molecular na região visível, a cor das soluções é um importante fator a ser considerado. Do ponto de vista da Física, a cor é a percepção da luz pelo olho humano de diferentes comprimentos de onda que atingem a retina. Ao incidir radiação eletromagnética na região visível sobre um corpo, este absorve uma parte dessa radiação e reflete outra; a cor observada pelo olho humano é então o resultado dos comprimentos de onda refletidos. Corpos de cor vermelha, por exemplo, absorvem todos os comprimentos de onda exceto aquele correspondente à cor vermelha, que é refletido e visualizado (EICKHOFF *et al.*, 2021). A Figura 9 traz esse processo de forma sumariada.

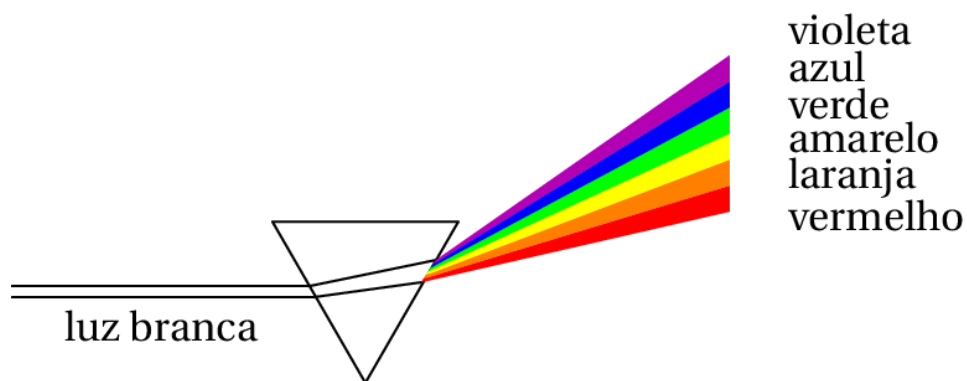
Figura 9: Fenômeno de observação da cor pelo olho humano.



Fonte: Adaptado de Mundo Educação, 2022.

Nesse sentido, sabendo que a luz branca é policromática (Figura 10), pois pode ser difratada em todas as cores do espectro do visível, corpos de cor branca refletem a radiação eletromagnética incidente em todos os comprimentos de onda dentro dessa faixa. Por outro lado, aqueles de cor negra os absorvem por completo, sendo a cor preta característica da ausência de luz refletida por um corpo.

Figura 10: Difração da luz branca, exemplificando o seu policromismo.

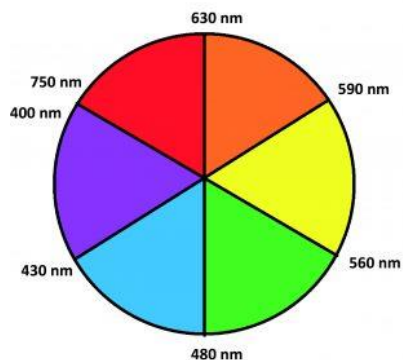


Fonte: Adaptado de Villate (2022).

Valendo-se dessa propriedade, e estendendo esse conhecimento à espectrofotometria molecular, é possível prever, por exemplo, o comprimento de onda no qual uma solução colorida absorverá maior quantidade de radiação eletromagnética, ao observar a cor refletida por ela. Isso porque o comprimento de onda da cor refletida é o oposto do comprimento de onda de máxima absorção, sendo esse último chamado de λ máximo (λ máx). Ou seja, uma solução azulada (480-430 nm), por exemplo, terá o seu máximo de absorção (λ máx) na faixa de comprimento de onda referente ao alaranjado (630-590 nm).

A fim de realizar essa predição de máximos de absorção em espectros moleculares de soluções coloridas, é possível observar os comprimentos de onda opostos dentro do espectro visível a partir do círculo cromático (Figura 11).

Figura 11: Círculo cromático.



Fonte: Adaptado de Knoow (2022).

A absorção molecular na faixa do UV-Vis é avaliada a partir de duas medidas: absorbância e transmitância. A primeira corresponde à fração de radiação retida na solução amostra (que contém o analito); e a segunda, à fração de radiação transmitida pelo meio. Em termos quantitativos, a absorbância é então dada pela Lei Beer-Lambert, que descreve a sua proporcionalidade em relação à concentração do analito, caminho ótico e absortividade molar.

$$Abs = \log \left(\frac{I_0}{I} \right) = \varepsilon \cdot M \cdot d \quad (2)$$

Em que:

Abs = absorbância,

I_0 = intensidade da luz incidida,

I = intensidade da luz transmitida através do meio,

ε = coeficiente de extinção (absortividade molar),

M = concentração molar do analito na amostra, e

d = caminho ótico.

Um efeito notável do fenômeno da absorção é a atenuação, ou a redução gradual da intensidade das ondas de luz à medida que se propagam através de um meio. Isso pode ser visualizado a partir da Equação 2, uma vez que apenas uma parte da radiação é transmitida, enquanto a outra é absorvida (MOREIRA; SANTOS; JÚNIOR, 2016). Essa equação permite ainda avaliar que sendo a absorbância diretamente proporcional à concentração da solução, a relação matemática entre essas medidas deve levar a um gráfico na forma de uma reta.

Entretanto, alguns desvios da lei de Beer-Lambert foram observados experimentalmente. Em concentrações elevadas, mudanças na posição ou intensidade do máximo de absorção, causadas pela formação de agregados moleculares, são passíveis de ocorrer. Além disso, a interação entre as moléculas do analito e o solvente (solvatocromismo) também pode causar variações (CASASANTA; GARRA, 2018).

Outra medida importante para o estudo da absorção molecular é a transmitância, que exprime a fração da energia luminosa que consegue atravessar uma determinada espessura de um material, sem ser absorvida. A transmitância é medida em percentual, e pode ser calculada pela sua relação com a absorbância.

$$Abs = 2 - \log (T\%) \quad (3)$$

Em que:

Abs = absorbância, e

T% = transmitância em percentual

Logo, quantidades como transmitância e absorbância são usadas para descrever as propriedades ópticas dos materiais, podendo ser aplicadas tanto à radiação complexa quanto à radiação monocromática. Nesse sentido, as propriedades ópticas dos materiais não são constantes, pois dependem de muitos parâmetros, como: espessura da amostra; condições da superfície; ângulo de incidência;

temperatura; composição espectral da radiação; efeitos de polarização (DEFFERRARI, 2017).

3.5. Construção de espectrofotômetros para fins didáticos

Por se tratar de um tema geralmente visto como complexo por estudantes e professores, Brandão e colaboradores (2017) ressaltam que a espectrofotometria deve ser trabalhada com uma turma a partir de uma base teórica sólida, considerando a profundidade conceitual de cada estudante e levando em conta o devido preparo do professor. Nesse sentido, é importante que conceitos como radiação eletromagnética, espectro eletromagnético, absorção, emissão e reflexão da radiação por átomos e moléculas e transições eletrônicas sejam retratados previamente ao ensino da espectrofotometria nas aulas de Química. Entretanto, uma vez que essas questões estejam ajustadas, se torna possível propor diversas abordagens em aulas experimentais.

Nesse sentido, Chng e Patuwo (2020) afirmam que a ideia de trazer instrumentos analíticos laboratoriais simplificados para a sala de aula, para fins de aprimoramento do pensamento analítico e computacional de professores e estudantes, não é novidade. Para os autores, essa prática é cada vez mais explorada em diferentes plataformas, com diferentes materiais e visando diferentes finalidades. Nesse contexto, é possível trabalhar a espectrofotometria em sala de aula com ampla contextualização. Conceitos essenciais à formação em Química, Física e Biologia, por exemplo, são diretamente aplicáveis ao tema em questão.

Exemplo disso é o que trazem Cipriano e colaboradores (2017) em seu estudo. Ao propor o que a autora chama de PID (Produto Interdisciplinar Didático), houve o planejamento e construção de um espectrofotômetro alternativo, a fim de que os estudantes pudessem visualizar em sala de aula o seu funcionamento, relacionando-o com a espectroscopia. Com isso, ela resalta como seu principal objetivo o de proporcionar aos alunos a apropriação do conhecimento científico acerca dos conceitos trabalhados nas aulas de Física e Química em uma abordagem contextual e interdisciplinar (CIPRIANO *et al.*, 2017).

Em seu trabalho, Shidiq, Permanasari e Hernani (2020) trazem uma revisão sistemática acerca dos estudos publicados que envolvem a construção de espectrofotômetros para fins didáticos. Os autores afirmam que dentre as melhorias propostas para os instrumentos destacam-se a preocupação com o meio-ambiente e a proposição de um equipamento de baixo custo e de simples operação.

Shidiq, Permanasari e Hernani (2020) classificam o desenvolvimento dos instrumentos a partir de dois importantes componentes, sendo eles: fonte emissora de luz e detector. Levando isso em consideração, a maioria dos trabalhos referenciados pelo autor se concentram na utilização de LED (*Light Emitting Diode*), do português: diodo emissor de luz, como fonte emissora, o que ele explica a partir da facilidade de obtenção e do baixo custo associado a esse componente.

Partindo para os detectores, os autores afirmam que a maioria dos trabalhos aborda o uso de câmeras de *smartphones* como detectores. Segundo o autor, embora a sua utilização como detectores elimine a necessidade de fotodetectores, não há significativo decréscimo da dificuldade na construção do instrumento analítico, uma vez que comumente se faz necessária uma análise fotográfica digital sofisticada. Além disso, o autor aponta como principal desvantagem dessa abordagem a impossibilidade de os estudantes explorarem o processo de absorção da luz por amostras, que é o princípio fundamental da operação dos espectrofotômetros comerciais.

Uma parte de grande relevância do seu trabalho é a que traz as diversas abordagens pedagógicas dos trabalhos referenciados. Sendo elas, em ordem decrescente de citações: jogo didático/aprendizagem por multimídia/aprendizagem por computação/aprendizagem sistemática/experimento guiado por investigação/*workshop*; aprendizagem baseada em problemas/demonstração em sala de aula; aprendizagem baseada em projetos; experimentação.

Dessa forma, torna-se claro que a maioria das abordagens pedagógicas dos trabalhos referenciados por Shidiq, Permanasari e Hernani (2020) se baseiam na utilização de um espectrofotômetro não-comercial para aplicações didáticas, visando estimular o pensamento crítico e criativo, partindo da construção de uma versão simples desse instrumento analítico.

Shidiq, Permanasari e Hernani (2020) trazem que dentre os diversos tipos de espectrofotômetros construídos para fins didáticos têm-se, em segundo lugar, os colorimétricos, e, em primeiro lugar, os de UV-Vis. O que pode explicar esse fato é o exposto por Chng e Patuwo (2020). Segundo os autores, os espectrofotômetros que operam na faixa do UV-Vis são simples, versáteis e possuem ampla aplicabilidade científica, incluindo análise quantitativa de componentes de uma solução, caracterização de espécies químicas pelo seu espectro eletrônico e determinação de variadas constantes em reações químicas.

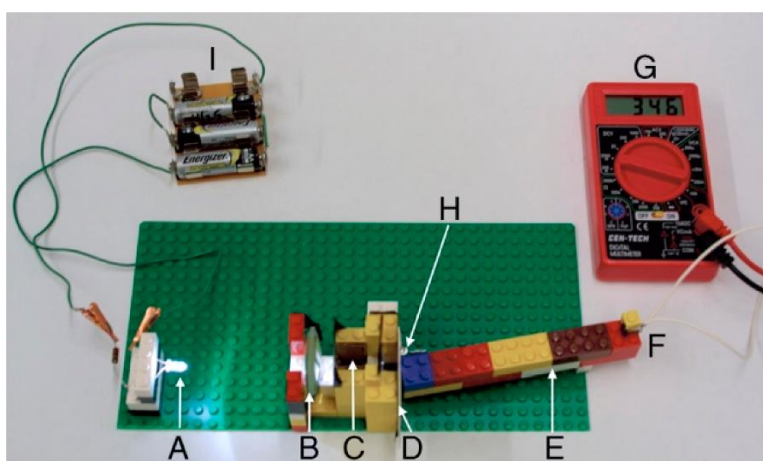
Por essas razões, o autor explica a escolha pela construção desse equipamento como ponto focal de uma aprendizagem por experimentação em uma perspectiva de metodologia ativa, descartando a região do ultravioleta do equipamento por razões do alto custo associado aos componentes eletrônicos de transmissividade nessa região do espectro eletromagnético (CHNG; PATUWO, 2020). Compactuando com o exposto por Shidiq, Permanasari e Hernani (2020), Chng e Patuwo (2020) afirmam que esse tipo de abordagem didática permite que os estudantes possam aprofundar seus conhecimentos em Química instrumental ao passo que se beneficiam da aprendizagem em programação voltada para investigação científica.

Levando isso em consideração, Albert, Todt e Davis (2012) introduzem em seu trabalho o espectrofotômetro visível construído para aplicação no seu módulo de 4h envolvendo a determinação do pK_a de indicadores, sediado anualmente no *Cornell's Institute for Chemistry Teachers*, em Nova York. Embora os experimentos fossem costumeiramente realizados utilizando o espectrofotômetro comercial *Ocean Optics USB2000+*, que permite determinações de pK_a com precisão de 0,1 em relação aos valores encontrados na literatura, os autores propuseram a construção de um espectrofotômetro de baixo custo.

A razão disso, segundo eles, é que os instrumentos comercialmente disponíveis geralmente representam uma “caixa preta”, e a sua utilização traz apenas uma noção rasa sobre a física elementar associada à espectrofotometria. Para os autores, a atividade de construir seus próprios espectrofotômetros oferece ampla oportunidade para ensinar os princípios físicos subjacentes da espectrofotometria, enquanto também permite a criatividade na sugestão de melhorias para o projeto.

Dessa forma, em seu trabalho, Albert, Todt e Davis (2012) trazem a construção de um espectrofotômetro utilizando componentes prontamente disponíveis. O custo total do instrumento foi de vinte e cinco dólares, o que corresponde a um oitavo do custo do espectrofotômetro comercial anteriormente utilizado por eles. O design proposto consistia em uma estrutura externa feita de blocos de LEGO, e seus componentes se encontram representados na Figura 12.

Figura 12: Espectrofotômetro de Albert, Todt e Davis. A: LED; B: lente; C: suporte de cubeta; D: grade de difração; E: braço detector rotativo; F: fotodiodo; G: multímetro digital; H: dobradiça; I: bateria.



Fonte: Adaptado de Albert, Todt e Davis (2012).

O equipamento construído por Albert, Todt e Davis (2012) é capaz de fazer medições da absorção em comprimentos de onda bem definidos dentro do espectro visível, além de permitir que os estudantes possam compreender os princípios físicos fundamentais que norteiam a espectrofotometria de absorção. Segundo os autores, o foco primário no design proposto foi a simplicidade de construção e uso e a minimização de custos sem sacrifícios de performance.

Um ponto importante no trabalho desenvolvido pelos autores foi o fato do seu instrumento ser capaz de selecionar comprimentos de onda específicos para leitura da absorbância. Segundo os autores, esse feito foi alcançado através de cálculos de comprimento de onda diretamente relacionado ao ângulo do detector, utilizando a

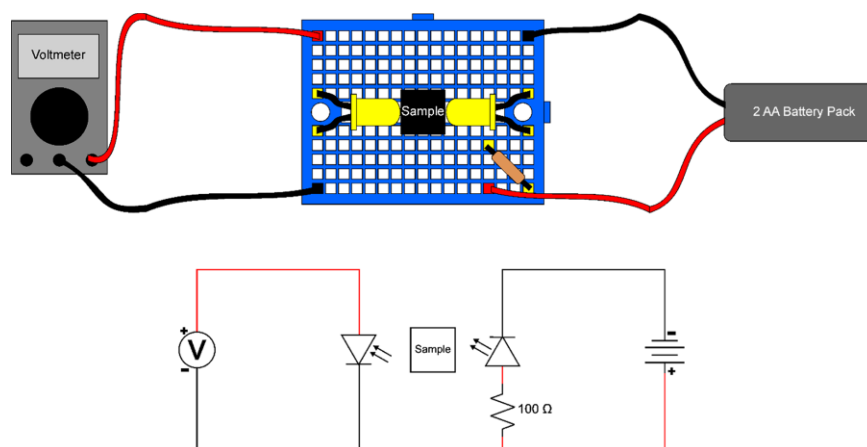
equação de difração de Fraunhofer. Aqui vale destacar que o ângulo foi medido com o auxílio de um transferidor e que para o mapeamento de todo o espectro de absorção visível, ele foi variado em incrementos de 1° , de 24° a 45° (~400 a 700 nm). Outro ponto de destaque é a utilização de um multímetro para a leitura da voltagem produzida pelo fotodiodo, o que torna esse instrumento capaz de realizar análises quantitativas.

Albert, Todt e Davis (2012, p.1432) enfatizam que “embora construir o aparato e colocá-lo em funcionamento seja uma tarefa fácil e rápida, fazer com que ele funcione bem requer tempo adicional e atenção aos detalhes”. Segundo os resultados trazidos pelos autores o mau desempenho do equipamento resulta mais comumente de um mau alinhamento entre os componentes ou da presença de luz difusa excessiva. Além disso, os autores relatam que, para fins educacionais, muitas vezes é desejável sacrificar uma pequena quantidade de precisão em favor da simplicidade e redução de custo do instrumento.

Place (2019) propôs, mais recentemente, a construção de um espectrofotômetro para análise de ferro em água, objetivando ensinar aos estudantes sobre a qualidade da água através da espectrofotometria e análise química ambiental. O autor endossa o exposto anteriormente por Albert, Todt e Davis (2012), de que os estudantes constantemente vêem os instrumentos analíticos como “caixas pretas” e explica que ao construírem o seu próprio equipamento os estudantes são capazes de aprofundar conceitos acerca da instrumentação analítica, incluindo design de circuitos e espectroscopia.

O espectrofotômetro de Place (2019) consiste de uma cubeta centralizada entre dois LED amarelos dispostos de maneira paralela, um resistor, um multímetro e uma bateria (Figura 13). O custo associado, segundo o autor, foi de nove dólares, desconsiderando as baterias e o multímetro.

Figura 13: Espectrofotômetro de Place. Diagrama do circuito elétrico (abaixo) e display gráfico (acima), no qual há um voltímetro (*voltmeter*), compartimento de amostra (*sample*) e baterias (2 AA battery pack).



Fonte: Adaptado de Place (2019).

Conforme visto na figura 13, nesse equipamento um LED atua como fonte emissora e o outro como detector. Além disso, pelo fato de a fonte emissora ser um LED amarelo, o equipamento é apenas capaz de realizar leituras em uma única faixa de comprimento de onda que está associada a essa cor no espectro visível. A fim de obter resultados quantitativos da absorbância das soluções, o autor descreve a utilização de um reagente colorimétrico nas amostras de água, e a leitura da voltagem através do multímetro. Uma vez que a voltagem produzida pelo LED detector é proporcional à intensidade da luz detectada, essas podem ser intercambiáveis na equação de Beer-Lambert, permitindo então a conversão da voltagem para absorbância.

Tal qual no trabalho de Albert, Todt e Davis (2012), Place (2019) também comparou o equipamento construído a um espectrofotômetro comercialmente disponível. Em termos da regressão linear da absorbância pelo comprimento de onda de soluções de calibração, o coeficiente de determinação obtido por Place (2019) foi superior ao obtido por Albert, Todt e Davis (2012), sendo eles, respectivamente, 0,99504 e 0,99822.

O trabalho de Place (2018) foi mais além ao trazer os cálculos associados ao Limite de Detecção (LD) e Limite de Quantificação (LQ) do equipamento construído.

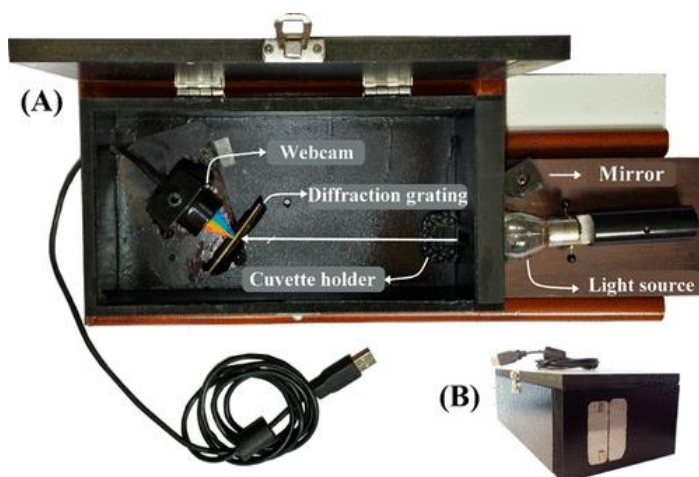
O LD encontrado pelo autor foi de 0,022 mg/L e o LQ foi de 0,065 mg/L. Embora esses sejam substancialmente maiores do que aqueles encontrados em equipamentos comercialmente disponíveis, o autor propõe melhorias ao seu design que impactariam significativamente nesses parâmetros, sendo elas: a inclusão de uma estrutura externa capaz de minimizar a luz difusa, e uma fenda capaz de direcionar o feixe de luz através da cubeta.

Place (2019) conclui o seu trabalho trazendo as possíveis contribuições do equipamento construído para o ensino. Segundo ele, essa é uma atividade que integra o entendimento de circuitos elétricos, química analítica e qualidade da água e em um contexto de Ensino Médio, o espectrofotômetro de LED pode ser pré-montado, trazendo o foco da atividade para a amostragem de água e a análise de ferro. Além disso, por ser uma ferramenta portátil, ele também pode ser usado no exterior (com blindagem da luz natural) para demonstrar medições em campo. Por outro lado, para alunos de graduação, o autor propõe o enfoque na introdução da discussão acerca da espectroscopia, que inclui os conceitos associados ao espectro eletromagnético, ondas, soluções, absorção e transmissão de luz, por exemplo.

Silva (2021) propôs a construção de um espectrofotômetro capaz de realizar medições analíticas de espectros de emissão de radiação eletromagnética, bem como fluorescência molecular e medições de absorção usando o mesmo instrumento feito de material de baixo custo (Figura 14). Além disso, segundo o autor, o design proposto é capaz de superar algumas desvantagens de outros propostos anteriormente, dentre elas, o fato de o equipamento não fornecer um espectro ou requerer a realização de vários procedimentos para obtê-lo, além de envolver um processo de calibração demorado.

O equipamento construído foi aplicado em uma sala de aula de Química, com 30 estudantes, em uma proposta de aprendizagem por metodologia ativa, sendo esta a experimentação científica. Segundo os autores, os estudantes demonstraram alto grau de entusiasmo e foram capazes de associar os conhecimentos teóricos aos experimentos práticos, compreendendo a análise química e medições, conceitos e conhecimentos acerca das aplicabilidades de instrumentos científicos na vida cotidiana.

Figura 14: Espectrofotômetro de Silva. A: vista do espectrofotômetro da webcam de cima com todos os seus componentes, lâmpada (*light source*), espelho (*mirror*), porta-cubeta (*cuvette holder*), grade de difração (*diffraction grating*) e webcam; B: Dispositivo com a tampa fechada, no qual a fenda pode ser encontrada fixada em sua tampa frontal.



Fonte: Adaptado de Silva (2021).

Retomando o trabalho de Shidiq, Permanasari e Hernani (2019), os autores enfatizam que uma análise aprofundada da literatura pesquisada resultou na mínima participação dos estudantes durante o processo de desenvolvimento dos espectrofotômetros. Segundo os autores, a maioria dos pesquisadores/professores opta por desenvolver e operar seu próprio instrumento analítico para posterior aplicação didática. E embora essa seja uma realidade, Shidiq, Permanasari e Hernani (2019) pontuam que variados estudos mostram que o envolvimento dos estudantes no processo de desenvolvimento e operação do instrumento analítico aumenta significativamente o seu entendimento sobre ele e sobre seus princípios físico-químicos de funcionamento, além de melhorar variadas habilidades pessoais.

4 METODOLOGIA

4.1. Questão Norteadora e Pressuposto da Pesquisa

A pesquisa em voga apresenta aspectos qualitativos e se configura como de natureza aplicada, que segundo Prodanov e Freitas (2013, p.51) “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à resolução de problemas específicos”. Nesse sentido, o problema com o qual a pesquisa se relaciona está associado à pergunta: “como viabilizar a experimentação no processo de ensino e aprendizagem de conceitos relacionados à espectrofotometria em aulas de Química no contexto acadêmico, utilizando um recurso instrumental de baixo custo?”.

Tal questão parte do pressuposto de que a inclusão de práticas que associam a atividade experimental à análise instrumental é de fundamental importância para a construção/reconstrução de conceitos relacionados à Química durante a formação acadêmica. Entretanto, compreende-se que essa prática é muitas vezes dificultada por diversas questões, sendo a principal delas o alto custo dos equipamentos analíticos comerciais.

Como uma alternativa a isso, acredita-se na viabilidade da construção de instrumentos analíticos utilizando materiais alternativos. Além disso, pressupõe-se que essa prática pode vir a facilitar a assimilação, construção e/ou reconstrução de conceitos químicos associados à análise espectrofotométrica em uma perspectiva de educação por metodologias ativas de ensino, mais precisamente, por experimentação instrumental.

4.2. Materiais e métodos

Os materiais necessários à montagem e operação do espectrofotômetro, bem como aqueles referentes aos experimentos propostos, se encontram dispostos em categorias no Quadro 1.

Quadro 1: Materiais necessários à realização da pesquisa, e seus valores em Reais.

Componentes elétricos	Componentes ópticos/estruturais	Componentes de aquisição e processamento de dados	Componentes para experimentação
01 Arduino Uno R3 (R\$ 60,00)	01 Lanterna tática portátil (800 lumens) 9,0 x 2,5 x 2,0 cm (R\$ 35,00)	01 Cabo USB - USB (Valor incluso ao Arduino Uno R3)	30 mL Solução de violeta genciana 1% Uniphar (R\$ 4,90)
01 Protoboard 400 pontos (R\$ 11,00)	01 DVD (R\$ 3,00)	01 Cabo carregador USB - tipo C (Valor incluso à lanterna tática)	01 L Água destilada Tecnoauto (R\$ 3,00)
01 Servo motor 9G SG90 (R\$ 15,00)	01 Cubeta de vidro óptico 2 faces polidas 10 mm 3,5 mL (R\$ 55,00)	01 Computador (R\$ *)	01 Pipeta graduada de vidro borosilicato transparente 5 mL (R\$ 7,00)
01 Sensor de luminosidade TEMENT6000 (R\$ 15,00)	02 Lâminas de barbear (R\$ 3,00)	Software Microsoft Excel® (Gratuito para teste)	01 pêra pipetadora Bioplast (R\$ 21,00)
09 Cabos conectores macho/fêmea 10 cm (Jumpers) (R\$ 3,00)	01 Caixa de MDF (<i>Medium-Density Fiberboard</i>) com tampa 23 x 33 x 9,5 cm (R\$ 22,00)	Software Arduino IDE® (Gratuito)	01 balão volumétrico de vidro borosilicato 3.3 transparentes classe A 10 mL (R\$ 27,00)
	01 Cartolina preta 40,0 x 40,0 cm (R\$ 1,40)		01 pacote de copos descartáveis transparentes com 100 unidades (R\$ 4,50)
	01 Papel ofício A4 branco (R\$ 0,05)		
	01 Chapa de papelão 40 x 40,0 cm (R\$ 1,80)		
	01 Pistola de cola quente 10w/60hz (R\$ 21,00)		
	01 bastão de cola quente 10 mm (Valor incluso à pistola de cola quente)		

	01 fita isolante preta 19 mm x 10 m (R\$ 4,00)		
--	--	--	--

* Não incluso por corresponder a um item que não está unicamente associado ao projeto, e que possui valor variável. Fonte: elaboração própria (2022).

Abaixo, no Quadro 2, se encontram os valores totais referentes à cada uma das categorias de componentes, bem como aqueles correspondentes à construção do equipamento em si, e à totalidade gasta com a pesquisa (incluindo os experimentos realizados).

Quadro 2: Valores, em Reais, das categorias de componentes e valores totais para construção do equipamento e para a pesquisa.

Componentes elétricos	Componentes ópticos/estruturais	Componentes de aquisição e processamento de dados	Componentes para experimentação
R\$ 104,00	R\$ 146,25	R\$ 0,00	R\$ 72,00
R\$ 250,25 (valor referente à construção do equipamento)			
R\$ 322,25 (valor total da pesquisa)			

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3. Construção do espectrofotômetro

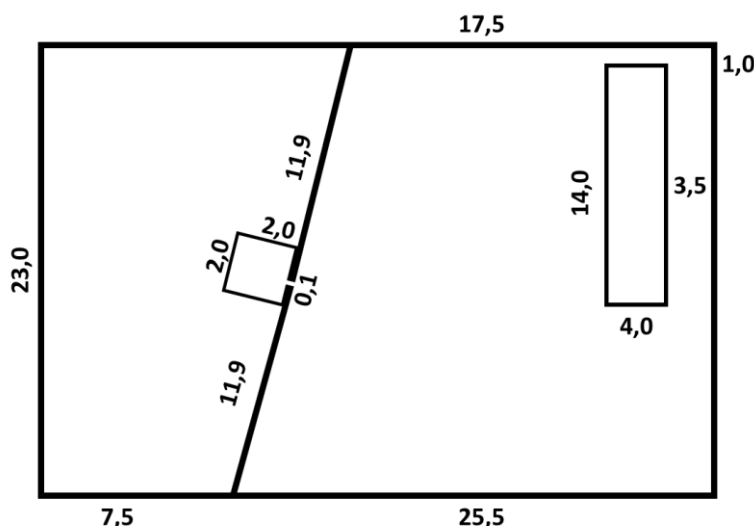
A construção do equipamento foi dividida em quatro partes, sendo elas a estrutural, a elétrica, a óptica/mecânica e a programação. A primeira delas consistiu no *casing* (invólucro) do equipamento; a segunda, no circuito elétrico; a terceira, na estrutura dos componentes ópticos e mecânicos integrados; e a quarta, na interação entre o *hardware* e o *software*, através da linguagem de programação do Arduino.

4.3.1. Construção estrutural

Para o *casing* do espectrofotômetro optou-se por utilizar uma caixa de MDF com tampa, de dimensões 23,0 x 33,0 x 9,5 cm. Foi realizado o revestimento interno da caixa utilizando cartolina preta, a fim de minimizar a interferência de luz difusa sobre o sistema. Um pedaço de papelão (anteparo) de dimensões 9,5 x 23,8 cm foi

recortado e posicionado diagonalmente no interior da caixa, conforme Figura 15. A face anterior do papelão foi revestida com papel ofício branco, visando a reflexão da luz incidente.

Figura 15: Esquema da vista superior bidimensional do *casing* construído, com dimensões expressas em centímetros.



Fonte: Elaboração própria (2022).

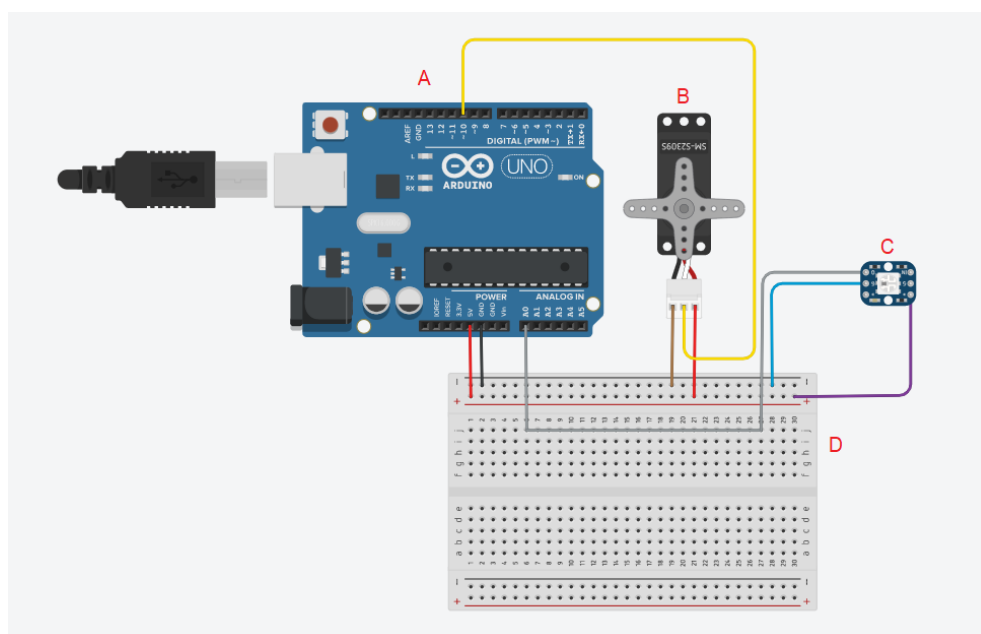
No centro do anteparo foi realizado um corte de 0,3 x 6,5 cm, e posteriormente a ele duas lâminas de barbear foram posicionadas de forma paralela a uma distância de 0,1 cm uma da outra (fenda). Às lâminas de barbear, e a uma altura de 3,0 cm do fundo da caixa, foi fixado o compartimento da cubeta, que foi confeccionado a partir de 3 retângulos de dimensões 2,0 x 2,0 cm, e 1 quadrado de 2,0 cm de aresta recortados em papelão. No centro da sua face posterior, foi recortado um quadrado de 0,5 cm de aresta, para acoplamento do sensor de luminosidade.

Por fim, um paralelepípedo de dimensões 4,0 x 14,0 x 3,5 cm foi recortado em papelão e posicionado a uma distância de 3,5 x 1,0 cm da extremidade oposta da caixa, a fim de servir de suporte para a lanterna (fonte luminosa). A altura do paralelepípedo foi determinada a partir da altura do servo motor, a fim de que a fonte luminosa fosse capaz de atingir diretamente, de forma mais centralizada o possível, a grade de difração.

4.3.2. Construção elétrica

Para a construção elétrica foram necessários os materiais relacionados na respectiva coluna do quadro 1. Ambas as saídas analógica e digital do Arduino foram utilizadas, e os componentes foram conectados segundo circuito disposto na Figura 16. A fonte de alimentação do sistema foi o próprio computador através de conexão via USB com o Arduino.

Figura 16: Esquema elétrico do espectrofotômetro construído. A: Arduino; B: servo motor; C: sensor de luminosidade; D: protoboard com as respectivas conexões via *jumper*s.

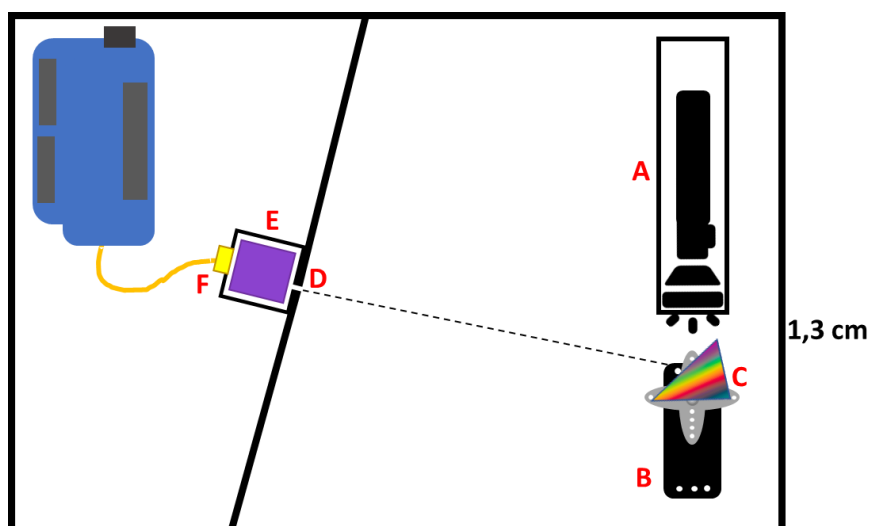


Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3.3. Construção óptica/mecânica

De maneira simplificada, um espectrofotômetro na região do visível é composto por fonte de radiação na região do visível, dispositivo dispersor (grade de difração), compartimento da amostra e cubeta contendo a amostra a analisar, detector de radiação para converter o sinal luminoso em sinal elétrico, e dispositivo que transforma o sinal elétrico em dígitos para leitura. Seguindo esse racional, a construção óptica e mecânica seguiu conforme Figura 17.

Figura 17: Esquema óptico/mecânico. A: fonte emissora de luz; B: servo motor; C: grade de difração; D: fenda; E: compartimento de cubeta e cubeta; F: sensor de luminosidade.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para a fonte emissora, inicialmente, testes foram realizados utilizando uma lanterna convencional portátil, bem como um LED branco integrado ao circuito elétrico. Entretanto, foi escolhida uma lanterna tática, por essa apresentar alto fluxo luminoso (800 lumens¹) e ter foco próprio, dispensando a necessidade de utilização de uma lente externa para convergir a luz. Um cabo USB - tipo C foi conectado na parte traseira da lanterna para conexão com o computador, para fins de alimentação elétrica.

Em relação à grade de difração fixada sobre o servo motor, testes foram realizados utilizando um pedaço de CD e de DVD recortados em forma triangular e quadrada. Optou-se então pela utilização de DVD em formato triangular, de dimensões 5,0 x 5,0 cm, por ter sido esse o responsável por difratar a luz de forma mais efetiva. Além disso, um ponto que se mostrou essencial para a obtenção de um espectro mais uniforme foi o espaçamento entre a fonte emissora e a grade de difração; este foi definido como 1,3 cm após uma série de testes com incrementos e decréscimos de 0,1 cm em 0,1 cm.

¹ Lúmen é a unidade de medida do SI utilizada para mensurar o fluxo luminoso emitido por determinada fonte de luz em relação a uma superfície em determinado período.

Conforme já mencionado, para a fenda foram utilizadas duas lâminas de barbear dispostas paralelamente uma a outra a uma distância de 0,1 cm. Imediatamente após a fenda, o compartimento de cubeta foi fixado. Um ponto que se mostrou essencial foi a fixação da cubeta dentro do seu compartimento durante as medições. Isso porque a depender do seu posicionamento em relação ao detector, o ângulo de incidência da radiação sofre variações, acarretando leituras imprecisas, corroborando com o exposto por Defferari (2017). A fim de mitigar esse interferente, a largura do compartimento foi ajustada, de modo que o encaixe da cubeta fosse o mais justo possível, mantendo-a fixa em uma posição.

Embora tenha-se cogitado a possibilidade de confecção de uma cubeta, optou-se pela aquisição de uma de vidro, comercialmente disponível, com caminho óptico de 10 mm, 2 faces polidas e capacidade de 3,5 mL. Tal decisão foi tomada visando minimizar a interferência do material de composição, bem como sua espessura, sobre as medições.

Por fim, para a detecção da radiação luminosa e conversão em sinal elétrico, inicialmente pensou-se utilizar um LDR (*Light Dependent Resistor*), do português: resistor dependente de luz, capaz de variar a resistência elétrica em função da luminosidade incidente. Entretanto, pelo seu maior grau de sensibilidade, optou-se pelo sensor de luminosidade TEMENT6000 (fototransistor NPN), capaz de medir a intensidade luminosa em lux², em uma faixa de largura de banda espectral correspondente à região do espectro de luz visível.

4.3.4. Programação e aquisição de dados

A programação consistiu na etapa final da construção do equipamento, sendo essa responsável pela interação entre o *hardware* e o *software* de aquisição de dados. Uma vez que o Arduino possui linguagem de programação C++ (com pequenas modificações), o algoritmo foi escrito nessa linguagem, após a inclusão da biblioteca *BH1750.h* no Arduino IDE, sem utilização de nenhuma base prévia, e os dados obtidos foram compilados no Arduino IDE (aplicativo de computador com compilador integrado).

² Lux corresponde à incidência perpendicular de um lúmen em uma superfície de 1 metro quadrado.

A fim de converter os dados da leitura da luminosidade (lux) para absorbância, e plotar os gráficos, se tornou necessário utilizar um *software* adicional, o Microsoft Excel®. Esse é um *software* de fácil utilização, que permite um período de teste de 30 dias gratuito, e que é usualmente utilizado por estudantes e professores.

4.4. Procedimento experimental

Visando avaliar a performance do espectrofotômetro construído foram realizadas diluições sucessivas de soluções-mãe de violeta genciana (1 %), que consiste em um antisséptico comercialmente disponível em drogarias e farmácias. As diluições descritas em sequência foram realizadas com auxílio de pipeta volumétrica de 5 mL, pêra pipetadora e balão volumétrico de 10 mL.

Inicialmente, foi necessário realizar medições com variadas concentrações a fim de verificar o LD do equipamento para o dado experimento. Este consistiu na menor concentração do analito na qual foi possível detectar um sinal analítico (lux) diferente daquele obtido para o branco (água destilada). Além disso, também foi avaliado o LQ inferior e LQ superior, que consistiram, respectivamente, na menor e maior concentração do analito nas quais foi possível quantificá-lo com precisão a partir do sinal analítico gerado (lux). Para a determinação dos limites de quantificação, foram realizadas leituras em sextuplicata partindo de um mesmo preparo, tendo sido as réplicas das medições avaliadas em termos do seu desvio padrão relativo.

O LQ superior foi determinado tendo em vista que o equipamento construído opera a partir de um sensor de luminosidade, e que soluções muito concentradas são capazes de impedir por completo a passagem da luz para o sensor, resultando em intensidades de leitura iguais a zero. Dessa forma, para a condução dos experimentos a faixa de trabalho consistiu naquela entre os dois limites de quantificação.

Uma vez determinadas essas questões, foram realizadas medições em triplicata da radiação incidente diretamente no detector e do branco (cubeta + água destilada) na faixa de comprimento de onda correspondente ao λ máx de absorção do analito, ou seja, em aproximadamente 500-590 nm (amarelo/verde).

Como o protótipo construído mede, essencialmente, a luz transmitida através de um material, se tornou necessário subtrair as intensidades obtidas com a cubeta e amostra daquelas encontradas para a situação em que se utilizou apenas a cubeta e

o branco; esse processo será retratado em todo o trabalho como “leitura considerando o branco”.

Levando isso em consideração, dentro da faixa de trabalho, foram preparadas quatro soluções a partir de diluições sucessivas da solução-mãe de violeta genciana (1 %), e cada uma das soluções diluídas foi medida em triplicata na mesma faixa de comprimento de onda previamente mencionada, tendo sido a leitura do branco considerada. A média dos resultados de cada solução foi convertida em absorbância segundo Equação 2, considerando a intensidade da luz incidente (I_0) e a intensidade da luz transmitida através do meio (I). Os dados de absorbância foram plotados em relação à concentração nominal do analito na solução em estudo, sendo posteriormente analisados nos termos do item 4.6 (Análise de dados).

Além disso, foi realizada análise em varredura, com 1 replicata, em 15 pontos dentro da faixa do espectro visível. A quantidade de pontos para medição foi determinada com base na precisão do servo motor em relação à quantidade de passos possíveis de serem realizados. Para tal análise, optou-se pela leitura da solução de concentração intermediária de violeta genciana (ponto 3), precedida da leitura da radiação incidente diretamente no detector e do branco. A leitura do branco foi considerada, e as respectivas conversões foram realizadas, conforme Equação 2. Os dados foram então plotados em relação às faixas de comprimento de onda correspondentes, sendo posteriormente analisados conforme item 4.6 (Análise de dados).

4.5. Análise de dados

Para análise dos dados coletados durante o procedimento experimental, foi utilizado o software Microsoft Excel®. Os resultados das medições das diluições sucessivas foram avaliados conforme regressão linear da curva de calibração, incluindo linha de tendência e coeficiente de determinação. Além disso, em relação à análise em varredura, o espectro de absorção na região do visível da substância correspondente foi comparado com aqueles relatados na literatura científica.

4.6. Proposição de atividade experimental

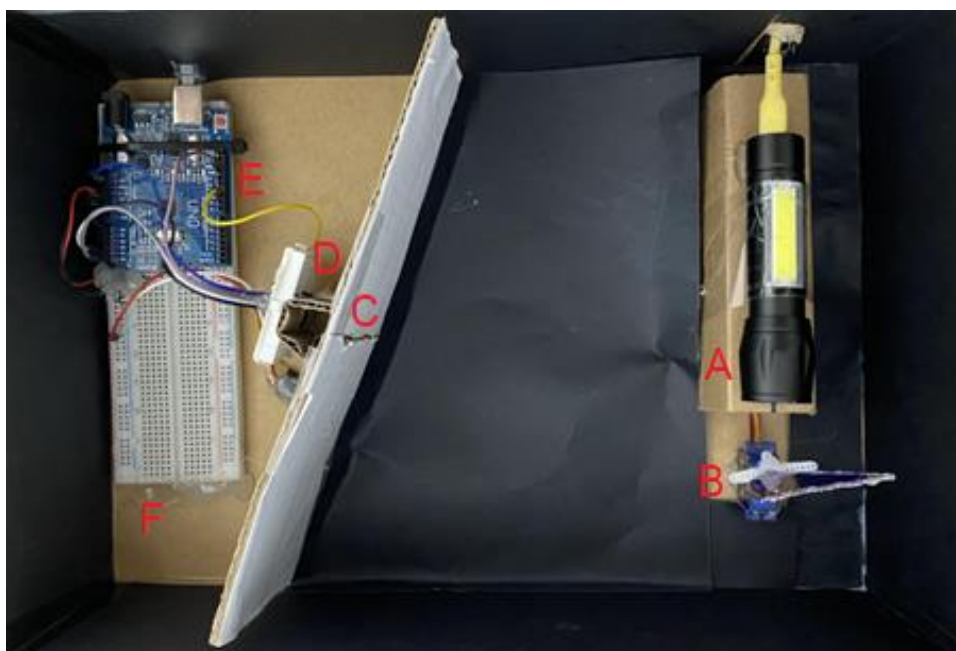
Visando demonstrar uma das possíveis aplicações do equipamento construído dentro de um contexto acadêmico, foi pensado um roteiro experimental para os discentes dos cursos de formação em Química (Anexo I). Tal atividade teve como base os procedimentos experimentais descritos neste trabalho associados à análise ambiental, levando em conta a interdisciplinaridade inerente à espectrofotometria (item 4.5).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Construção do espectrofotômetro

O espectrofotômetro foi construído conforme descrito na seção 4 (Materiais e Métodos), e a sua versão final se encontra demonstrada na Figura 18.

Figura 18: Espectrofotômetro de Arduino. A: fonte emissora de luz; B: servo motor e grade de difração; C: fenda; D: compartimento de cubeta e sensor de luminosidade (posteriormente); E: Arduino; F: protoboard.



Fonte: Elaboração própria (2022).

O código de programação (Quadro 3) foi escrito sem nenhuma base prévia, a fim de que o equipamento pudesse realizar medições em faixas de comprimento de onda fixos, bem como medições em varredura por todo o espectro visível.

Quadro 3: Código de programação do espectrofotômetro.

```

#include <Servo.h>
#include <BH1750.h>
#include <Wire.h>
int pos51 = 90;
int pos52 = 90;
int pos51i = 90;
int pos52i = 90;
int incomingByte = 0;
int currentPos51;
int currentPos52;
int lux = 0;

Servo servo1;
Servo servo2;

BH1750 lightMeter;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Carregando código do Arduino");

  lightMeter.begin();
  servo1.attach(9);
  servo1.write(pos51i);

  servo1.attach(10);
  servo1.write(pos52i);

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
  delay(1000);

  if (Serial.available() > 0){

    incomingByte = Serial.read();

    Serial.print("I received: ");
    Serial.println(incomingByte, DEC);

    switch(incomingByte){

      case 97:
        if(pos51 > 180){

```

```

    pos51=170;
}
pos51 += 1;
servo1.write(pos51);
currentPos51 = servo1.read();
Serial.print("51 current position: ");
Serial.println(currentPos51);

Serial.print("Luminosidade: ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" lux");
break;

case 100:
if(pos51 < 0){
    pos51=10;
}
pos51 -= 1;
servo1.write(pos51);
currentPos51 = servo1.read();
Serial.print("51 current position: ");
Serial.println(currentPos51);

Serial.print("Luminosidade: ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" lux");
break;

case 115:
if(pos52 > 180){
    pos52=170;
}
pos52 += 1;
servo2.write(pos52);
currentPos52 = servo2.read();
Serial.print("52 current position: ");
Serial.println(currentPos52);

Serial.print("Luminosidade: ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" lux");
break;

case 119:
if(pos52 < 0){
    pos52=10;
}
pos52 -= 1;
servo2.write(pos52);
currentPos52 = servo2.read();
Serial.print("52 current position: ");
Serial.println(currentPos52);

Serial.print("Luminosidade: ");

```

```

Serial.print(lux);
Serial.println(" lux");
break;

case 120:
Serial.println ("Reset servo to default position");
servo1.write(pos51i);
servo1.write(pos52i);
pos51 = 90;
pos52 = 90;
break;
default:
incomingByte = 0;
}

Serial.print("51 Current position required: ");
Serial.println(pos51);
Serial.print("52 Current position required: ");
Serial.println(pos52);

incomingByte = 0;
}

Serial.print("Luminosidade: ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" lux");
}

```

Fonte: Elaboração própria (2022).

Uma vez que a presente pesquisa partiu da intenção de viabilizar a análise experimental instrumental em um contexto acadêmico, a construção proposta, embora apresente custo aproximadamente 20 vezes menor em comparação a um espectrofotômetro comercial, também apresenta limitações em termos de precisão de construção, quando comparada a ele.

Nesse sentido, a intensidade luminosa apresentou variações consideráveis à medida que houve decaimento da bateria da lanterna tática. Uma alternativa a isso foi mantê-la sempre ligada à fonte de alimentação (computador), via cabo USB - C. Além disso, também se observou que imediatamente após ligá-la, havia um pico de intensidade luminosa que decaía lentamente até atingir um *plateau*, após cerca de 2 minutos. Sendo assim, viu-se a necessidade de esperar a estabilização do sistema durante esse tempo, a fim de evitar leituras imprecisas, tal como é feito durante a utilização de um espectrofotômetro comercial.

Outro ponto é que o equipamento construído não é capaz de selecionar comprimentos de onda específicos para as análises. Por outro lado, este permite a passagem de um feixe de luz a partir de uma fenda milimétrica, de modo que seja possível a identificação visual e ajuste manual da faixa de comprimento de onda aproximada à qual este feixe corresponde, de acordo com sua cor.

Além disso, um delimitador para a análise em varredura se mostrou ser a quantidade de passos realizados pelo servo motor. Isso porque o menor incremento possível de ser realizado pelo servo motor do modelo utilizado é de 1 grau. Logo, 15 passos foram possíveis de serem obtidos, correspondendo à mesma quantidade de faixas de comprimento de onda possíveis de serem analisadas pelo equipamento. Todavia, esses passos foram suficientes para abranger todas as cores do espectro de luz visível, viabilizando medições em qualquer faixa de comprimento de onda relacionada a todas elas.

Logo, entende-se que para fins didáticos, a precisão oferecida é aceitável, pois não restringe a utilização do equipamento em nenhum aspecto pretendido. Ou seja, embora o instrumento não tenha a mesma precisão de construção, este opera sobre o mesmo princípio de funcionamento, possui componentes de mesma função, fornece dados de mesmo conteúdo que podem ser tratados matematicamente de mesma forma, e possibilita a constatação dos fenômenos químicos envolvidos na interação da matéria com a radiação eletromagnética de mesmo modo que um espectrofotômetro comercial.

5.2. Procedimento experimental

Após a finalização da construção do equipamento, partiu-se para a análise experimental a fim de verificar a sua performance. O LD encontrado foi de 0,00005%, e em relação aos limites de quantificação, o LQ inferior foi de 0,0001%, apresentando um DPR (Desvio Padrão Relativo) entre medidas de 1,048809 %, já o LQ superior foi de 0,002%, com DPR de 0,983192 %.

A partir da obtenção desses limites, quatro soluções foram preparadas a partir de diluições sucessivas da solução-mãe de violeta genciana (1 %), nas concentrações de 0,002 %, 0,001 %, 0,0005 % e 0,0001 %. Tais soluções foram armazenadas em copos descartáveis, conforme Figura 19.

Figura 19: Soluções diluídas de violeta genciana em concentrações de 0,002%, 0,001%, 0,0005% e 0,0001%, da esquerda para direita.



Fonte: Elaboração própria (2022).

As medições foram realizadas conforme descrito em “Materiais e Métodos”, e os dados brutos gerados pelos experimentos foram transferidos para o *Microsoft Excel®*, no qual foram convertidos matematicamente para medidas de absorbância, segundo Equação 2. Tais resultados se encontram nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1: Leituras das medições das replicatas e suas médias para o experimento com diluições sucessivas de violeta genciana em uma faixa de comprimento de onda entre 500 nm a 590 nm.

Identificação	Leitura (lux)
Luz direta	478
Branco	465
Sol. 0,002%	65 65 65
Sol. 0,002% $\bar{x}$	65
Sol. 0,001%	166 166 166
Sol. 0,001% $\bar{x}$	166
Sol 0,0005%	287 287 287
Sol. 0,0005% $\bar{x}$	287
Sol. 0,0001%	460 460 460
Sol. 0,0001% $\bar{x}$	460

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 2: Absorbâncias calculadas a partir das médias de leitura em lux, para o experimento com diluições sucessivas de violeta genciana em uma faixa de comprimento de onda entre 500 nm a 590 nm.

Identificação	Absorbância
Sol 0,002%	0,963425
Sol 0,001%	0,494736
Sol 0,0005%	0,241677
Sol 0,0001%	0,029120

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 3: Leituras obtidas durante o experimento de varredura.

1º passo $\lambda \cong 380-440$ nm	Leitura (lux)	2º passo $\lambda \cong 380-440$ nm	Leitura (lux)	3º passo $\lambda \cong 380-440$ nm	Leitura (lux)
Luz direta	44	Luz direta	52	Luz direta	115
Branco	42	Branco	51	Branco	110
Sol 0,0005%	41	Sol 0,0005%	50	Sol 0,0005%	105
4º passo $\lambda \cong 440-500$ nm	Leitura (lux)	5º passo $\lambda \cong 440-500$ nm	Leitura (lux)	6º passo $\lambda \cong 440-500$ nm	Leitura (lux)
Luz direta	163	Luz direta	162	Luz direta	168
Branco	154	Branco	160	Branco	166
Sol 0,0005%	150	Sol 0,0005%	149	Sol 0,0005%	152
7º passo $\lambda \cong 500-565$ nm	Leitura (lux)	8º passo $\lambda \cong 500-565$ nm	Leitura (lux)	9º passo $\lambda \cong 565-590$ nm	Leitura (lux)
Luz direta	289	Luz direta	291	Luz direta	397
Branco	260	Branco	265	Branco	290
Sol 0,0005%	255	Sol 0,0005%	219	Sol 0,0005%	288
10º passo $\lambda \cong 565-590$ nm	Leitura (lux)	11º passo $\lambda \cong 565-590$ nm	Leitura (lux)	12º passo $\lambda \cong 590-625$ nm	Leitura (lux)
Luz direta	398	Luz direta	202	Luz direta	205
Branco	239	Branco	165	Branco	200
Sol 0,0005%	212	Sol 0,0005%	47	Sol 0,0005%	178
13º passo $\lambda \cong 590-625$ nm	Leitura (lux)	14º passo $\lambda \cong 625-740$ nm	Leitura (lux)	15º passo $\lambda \cong 625-740$ nm	Leitura (lux)
Luz direta	208	Luz direta	71	Luz direta	70
Branco	201	Branco	70	Branco	69
Sol 0,0005%	194	Sol 0,0005%	62	Sol 0,0005%	64

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 4: Absorbâncias calculadas para o experimento de varredura.

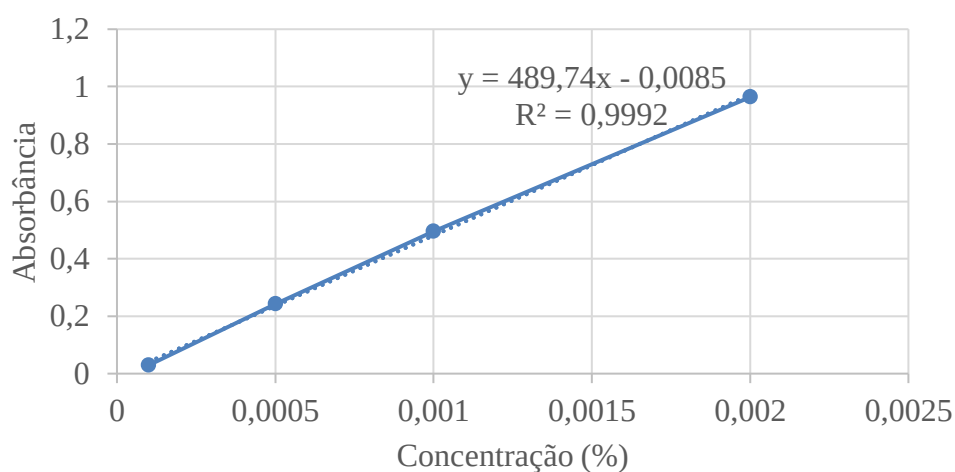
1º passo $\lambda \cong 380-440$ nm	2º passo $\lambda \cong 380-440$ nm	3º passo $\lambda \cong 380-440$ nm	4º passo $\lambda \cong 440-500$ nm	5º passo $\lambda \cong 440-500$ nm
0,05238807	0,02580726	0,06069784	0,06296849	0,04219768
6º passo $\lambda \cong 440-500$ nm	7º passo $\lambda \cong 500-565$ nm	8º passo $\lambda \cong 500-565$ nm	9º passo $\lambda \cong 565-590$ nm	10º passo $\lambda \cong 565-590$ nm
0,04921802	0,10678940	0,17833568	0,341111932	0,87560720
11º passo $\lambda \cong 565-590$ nm	12º passo $\lambda \cong 590-625$ nm	13º passo $\lambda \cong 590-625$ nm	14º passo $\lambda \cong 625-740$ nm	15º passo $\lambda \cong 625-740$ nm
1,30535137	0,07370776	0,04622173	0,06592851	0,04575749

Fonte: Elaboração própria (2022).

5.3. Análise de dados

No *Microsoft Excel*® os dados de absorbância foram plotados em relação à concentração nominal do analito em solução, conforme quadro 5. O gráfico oriundo desse procedimento se encontra na Figura 20.

Figura 20: Curva de calibração de violeta genciana.

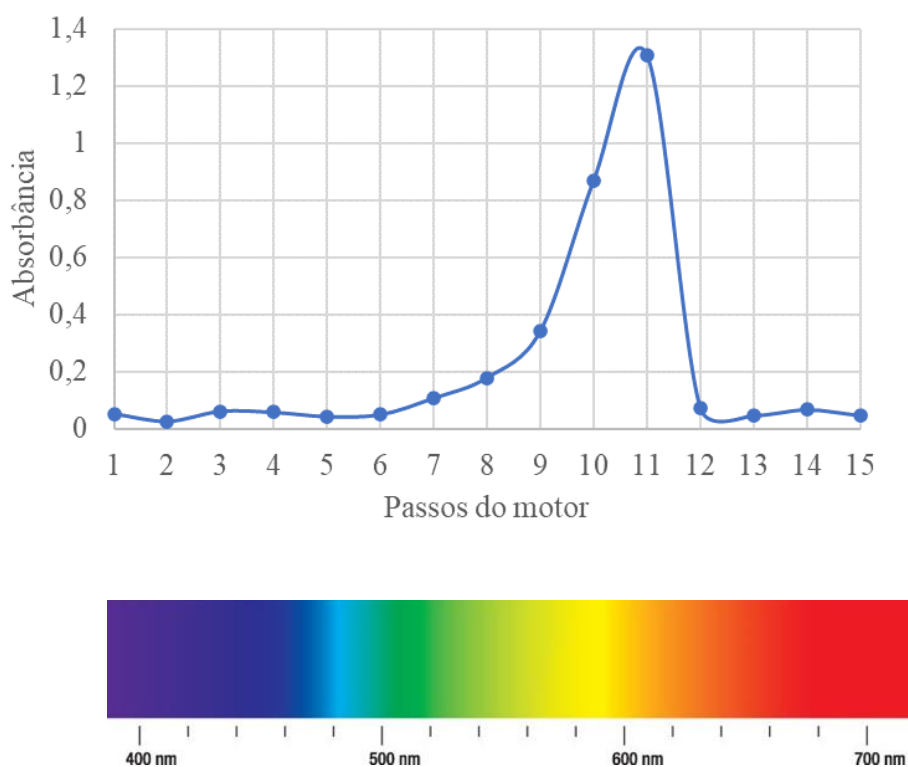


Fonte: Elaboração própria (2022).

A partir do gráfico gerado, foram habilitadas as funções de linha de tendência e equação da reta. O resultado do coeficiente de determinação indica a relação linear entre absorvância e concentração, tal qual previsto pela Lei de Beer-Lambert. Nesse ponto vale a pena ressaltar o limite de linearidade previsto pela lei supracitada, considerando que fatores como o aumento da concentração podem ocasionar em desvios da relação linear entre absorvância e concentração. Dessa forma, a equação da reta obtida pode ser utilizada para prever a concentração de soluções do mesmo analito a partir das suas medições no espectrofotômetro construído, na mesma faixa de comprimento de onda utilizada para a curva de calibração.

Além disso, a partir da análise por varredura, cujos dados se encontram dispostos no quadro 7, o espectro de absorção do analito em questão foi plotado no *Microsoft Excel*®, podendo ser visualizado na Figura 21.

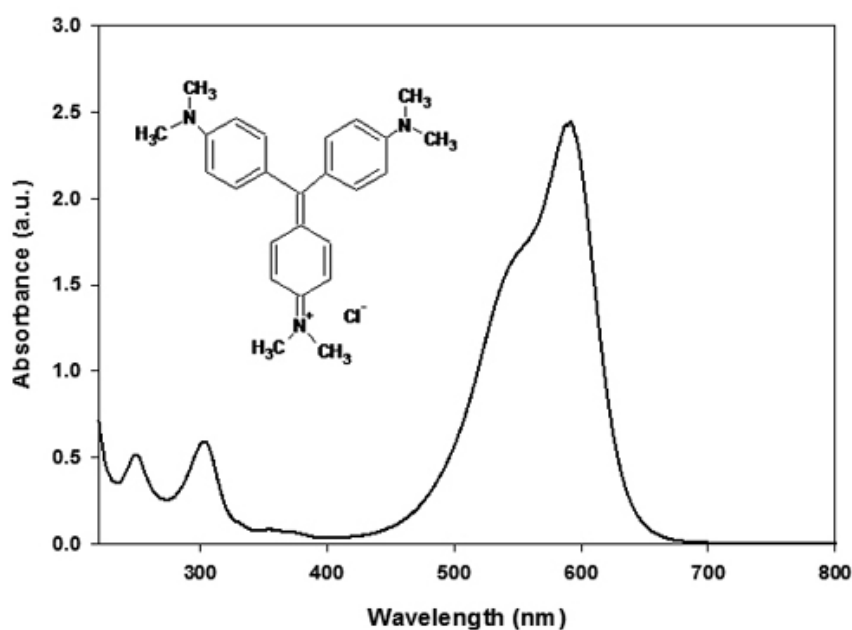
Figura 21: Espectro de absorção obtido para violeta genciana.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Ao comparar o espectro obtido ao disponível na literatura científica (Figura 22), é possível perceber a “assinatura espectral” do analito, e que a faixa correspondente ao λ máx encontrado para ele é condizente com a literatura científica. Dessa forma, valida-se a capacidade do instrumento construído de gerar espectros de absorção molecular comparativos àqueles obtidos por equipamentos comercialmente disponíveis.

Figura 22: Espectro de absorção da literatura científica para violeta genciana.



Fonte: Adaptado de Rehman, 2017.

6 CONCLUSÃO

Face aos resultados apresentados e discutidos nesta pesquisa, conclui-se que, ainda que haja limitações em termos de construção entre o protótipo e um espectrofotômetro comercial, o que se evidencia pelos valores de LQ e LD substancialmente maiores em relação aos espectrofotômetros comerciais, o instrumento construído apresenta uma boa performance para a finalidade à qual se propõe, e representa um custo aproximadamente 20 vezes inferior. Ou seja, tendo em vista a sua aplicação em um ambiente acadêmico, a redução na precisão de construção e medição é compensada pela simplicidade, pelo baixo custo associado, pela boa concordância de medições, e pela possibilidade de explorar variados conceitos inerentes ao ensino de Química.

É importante mencionar que a escolha do analito para os testes (violeta genciana) se deveu à facilidade de obtenção e intensidade da cor apresentada. No entanto, as opções de aplicação do espectrofotômetro construído não se restringem a esse analito, ou a medições na faixa de comprimento de onda relacionada ao seu $\lambda_{\text{máx}}$, mas se estendem às soluções coloridas de forma geral, por todo o espectro visível.

Além disso, o intuito na proposição de um roteiro experimental foi o de sugerir um ponto de partida para a utilização do equipamento em um contexto acadêmico, mas que é passível de adaptações de acordo com os conteúdos que se pretendem explorar, e as finalidades pensadas pela prática docente. Entretanto, sugere-se que a visão construtivista da experimentação seja levada em conta durante o planejamento da utilização do equipamento, bem como haja a proposição de atividades a partir de metodologias ativas, a fim de problematizar a interação dos estudantes, trazendo como intencionalidade a ação discente no centro do processo educacional.

Assim, entende-se que a confecção do espectrofotômetro de baixo custo viabiliza a sua inserção no ambiente acadêmico, e representa grandes potencialidades para o ensino de Química, em especial para os cursos de formação docente. Isso porque, inicialmente, facilita a construção e reconstrução de conceitos ora vistos como complexos e de difícil compreensão, que agora passam a ser exemplificados a partir da experimentação instrumental. E, por outro lado, se pautam na

possibilidade de o professor em formação, uma vez licenciado, pensar adaptações e estratégias para utilização do equipamento no ensino básico.

De fato, embora alguns dos conteúdos passíveis de serem explorados a partir desse instrumento sejam a quantização de energia, transições eletrônicas, bandas de energia, emissão e absorção de fótons, que são mais aprofundados durante a formação acadêmica, estes e outros conteúdos como o estudo de soluções, o modelo atômico de Bohr e os fenômenos de absorção e transmissão da luz podem ser trabalhados de maneira mais simplificada no ensino básico.

Dessa forma, acredita-se que os resultados dessa pesquisa são capazes de facilitar a aprendizagem de conceitos de Química, e de instigar o senso crítico, questionador e investigativo dos discentes ao permiti-los o contato direto com a análise instrumental no ambiente acadêmico, sendo resultado disso uma formação técnico-científico-informacional integral. Ao mesmo tempo, acredita-se que esta consiste em uma proposta capaz de instigar a criatividade e versatilidade dos docentes em formação em relação às possíveis adaptações desse equipamento para o exercício da sua prática profissional futura.

REFERÊNCIAS

- ALBERT, D. R.; TODT, M. A.; DAVIS, H. F. A low-cost quantitative absorption spectrophotometer. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 11, p. 1432-1435, 2012.
- ALMEIDA, F. J. *et al.* **Desmistificando a teoria da relatividade de Einstein**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- ANDRADE, J. C.; ALVIM, T. R. Química Analítica Básica: O papel da química analítica clássica na formação do químico. **Revista Chemkeys**, n. 9, p. 1-16, 2009.
- ANDRADE, R. S.; ZUIN, V. G. A Experimentação na Educação em Química Verde: uma Análise de Propostas Didáticas Desenvolvidas por Licenciandos em Química de uma IES Federal Paulista. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. e25960-22, 2021.
- ARROIO, A. *et al.* O show da química: motivando o interesse científico. **Revista Química Nova na Escola**, v.29, n.1, p.173-178, 2006.
- AYRES, L. B. Plataforma Integrada de Ensino: Utilização de novas tecnologias para aprimorar o ensino de química em analítica instrumental. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba.
- BINSFELD, S. C; AUTH, M. A. A experimentação no ensino de ciências da educação básica: constatações e desafios. **Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências**, v. 8, p. 1-10, 2011.
- BRANDÃO, E. G. *et al.* Ferramentas alternativas para o ensino de espectroscopia. 2017. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/6/12646-23074.html>>. Acesso em: 05 de maio de 2022.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- CARVALHO, R. S. Atividades investigativas na formação inicial de professores de química em uma instituição pública de ensino superior. **Scientia Amazonia**, v. 7, n.1, 115-121, 2018.
- CASASANTA, G.; GARRA, R. Towards a generalized Beer-Lambert law. **Fractal and Fractional**, v. 2, n. 1, p. 8, 2018.
- CHNG, J. J K.; PATUWO, M. Y. Building a Raspberry Pi Spectrophotometer for Undergraduate Chemistry Classes. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 2, p. 682-688, 2020.
- CIPRIANO, A. *et al.* Tecnologias baseadas na luz: abordagem contextualizada e interdisciplinar entre física e química. 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/189498/PPEF-A0010-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 de Maio de 2022.

DA SILVA, F. L.; MUZARDO, F. T. Pirâmides e cones de aprendizagem: da abstração à hierarquização de estratégias de aprendizagem. **Dialogia**, n. 29, p. 169-179, 2018.

DE SOUZA, R. B.; CASTRO, L. M.; CAMPOS, S. S. CONCEITOS MODERNOS PROPELIDOS POR JOGOS PEDAGÓGICOS EM UM PANO DE FUNDO CLÁSSICO: UEPS SOBRE A INTERAÇÃO DAS RADIAÇÕES COM A MATÉRIA. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 02, p. 198-228, 2020.

DEFFERRARI, C. S. Metodologia computacional para análise óptica de células fotovoltaicas encapsuladas. 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/173184>>. Acesso em: 05 de maio de 2022.

DEWEY, J. Thinking in Education. **Democracy and education**: An introduction to the philosophy of education. New York: The Free Press, 1916.

DIAS, S. L. P.; VAGHETTI, J. C. P.; LIMA, É. C.; BRASIL, J. L.; PAVAN, F. A. **Química analítica**: teoria e prática essenciais. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016.

DORSCH, G. C.; GUIO, T. C. C. Física de Partículas no ensino médio Parte I: Eletrodinâmica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

DOS SANTOS, J. M. T.; STANGE, C. E. B.; DOS SANTOS, S. A. Instrumentalização, demonstração e experimentação em Química, Física e Biologia. **Revista Publicação**, v. 1, n. 1, p. 21, 2008.

DOS SANTOS, L. R.; DE MENEZES, J. A. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, v. 12, n. 26, p. 180-207, 2020.

DUTRA, J. W. A.; MOREIRA, A. M. D.; PEREIRA, Á. I. S.; RIBEIRO, F. A. A.; ROJAS, M. O. A. I.; MOREIRA, D. S.; SILVA, J. R. FERRAMENTAS EDUCATIVAS DIGITAIS PARA O ENSINO DE QUÍMICA ANALÍTICA. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 3, n. 2, p. e321101-e321101, 2022.

EICKHOFF, J. M. *et al.* FÍSICA PARA TODOS: UM EXPERIMENTO SOBRE CORES 2. **Salão do Conhecimento**, v. 7, n. 7, 2021.

ESTUDO DA COR. Espectro Eletromagnético. Disponível em: <<https://estudodacor.wordpress.com/aspectos-fisicos/espectro-da-luz/espectro-2/>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2022. Il. color.

FERNANDES, J. P. A. Instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de química: uma revisão integrativa. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERRARINI, R.; SAHEB, D.; TORRES, P. L. Metodologias ativas e tecnologias digitais: aproximações e distinções. **Revista Educação em Questão**, v. 57, n. 52, 2019.

FERREIRA, A. P. Ensino de química experimental de nível médio com auxílio de um espectrofotômetro alternativo na região do visível. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal da Paraíba.

FONSECA, J. G. P. Caracterização química do lodo de esgoto de Juiz de Fora por diferentes técnicas e investigação dos seus efeitos sobre azevém anual. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Juiz de Fora.

GEMIGNANI, E. Y. M. Y. Formação de professores e metodologias ativas de ensino-aprendizagem: ensinar para a compreensão. **Fronteiras da Educação**, v. 1, n. 2, 2013.

GOMES, R. P. Atualização de Conhecimentos da Utilização de Recursos Tecnológicos na Docência do Ensino Superior. **Estação Científica**, n. 15, 2016.

JÚNIOR, F. *et al.* Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. **Química nova na Escola**, v. 30, n. 4, p. 34-41, 2008.

KELLY, G.; ROCHA, D.; GERMANO, R. Espectroscopia para o Ensino Médio utilizando a placa Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, 2017.

Know. Espectro de absorção. Disponível em: <<https://know.net/cienciterravida/biologia/espectro-de-absorcao/>>. Acesso em: 17 de outubro de 2022. Il. color.

LAUDARES, F. A. L. *et al.* Instrumentação para Ensino de Física da UFRuralRJ: experiências docentes para a introdução tecnológica. **Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria**, v. 7, n. 1, p. 51-58, 2014.

LEITE, D. O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, 2012.

LEMES, E. O.; SILVA, J. R., VARGEM, D. S. Proposta didática para o ensino da química analítica. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 18, n. 2, p. 115-118, 2017.

LIMA, E. N. *et al.* Espectroscopia. In: CABRAL, A. G. S.; SOUSA, C. E. M.; LIMA, E. N. (Org). **Biofísica básica aplicada às Ciências Farmacêuticas**. Recife: PoD editora, 2018. p. 195-214.

LIMA, N.; CAVALCANTI, C.; OSTERMANN, F. Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, 2020.

LOVATO, F. L. *et al.* Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 2, 2018.

LUCENA, G. L.; DOS SANTOS, V. D.; DA SILVA, A. G. Laboratório virtual como alternativa didática para auxiliar o ensino de química no ensino médio. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 21, n. 02, p. 27, 2013.

MADRUGA, Z. E.; KLUG, D. A função da experimentação no ensino de ciências e matemática: uma análise das concepções de professores. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 5, n. 3, 2015.

MAGALHÃES, D. P. Study and characterization via Monte Carlo simulation of ionizing radiation damages in hybrid pixel detectors. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

MALHEIRO, J. M. S. Atividades experimentais no ensino de ciências: limites e possibilidades. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 1, n. 1, p. 108-127, 2016.

MELO, C. C.; OLIVEIRA, R. C. B. SOUZA, A. N. Utilização de experimentação como aporte em atividades problematizadoras para a significação de conceitos químicos no Ensino Básico. **Debates em Educação**, v. 11, n. 24, p. 84-105, 2019.

MENEZES, S. P. *et al.* Degradação do Linear Alquilbenzeno Sulfonado (LAS) em Reator Batelada Sulfetogênico e Metanogênico. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba.

MITRE, S. M. *et al.* Metodologias ativas de ensino-aprendizagem na formação profissional em saúde: debates atuais. **Ciência & saúde coletiva**, v. 13, p. 2133-2144, 2008.

MORAN, José. Metodologias ativas: alguns questionamentos. In: **Metodologias ativas para uma educação inovadora**. Porto Alegre: Penso, 2019.

MOREIRA, A. F.; SANTOS, S. B. R.; JUNIOR, A. G. C. Construção e caracterização de um fotômetro destinado ao uso de aulas experimentais de química sobre a lei de Beer-Lambert. **Holos**, v. 2, p. 142-151, 2016.

MORENO, E. L.; HEIDELMANN, S. P. Recursos instrucionais inovadores para o ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 1, p. 12-18, 2017.

Mundo educação. Óptica geométrica. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/optica-geometrica.htm>>. Acesso em: 17 de outubro de 2022. Il. color.

MUSTROPH, H. Potential-Energy Surfaces, the Born–Oppenheimer Approximations, and the Franck–Condon Principle: Back to the Roots. **ChemPhysChem**, v. 17, n. 17, p. 2616-2629, 2016.

OLIVEIRA, B. N. A. *et al.* O ensino de química analítica experimental na concepção de estudantes do Curso de Licenciatura em Química da UFCG Campus Cuité-PB. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.

OLIVEIRA, P. C.; LEITE, M. A. Espectrofotometria no Ensino Médio: construção de um fotômetro de baixo custo e fácil aquisição. **Revista Química Nova na Escola[online]**, v. 38, 2016.

PAIVA, M. R. F.; PARENTE, J. R. F.; BRANDÃO, I. R.; QUEIROZ, A. H. B. Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa. **Revista de Políticas Públicas**, v. 15, n. 2, 2016.

PAZINATO, M. S. Plano Orientador “Grupos cromóforos e sua relação com a cor”: produto educacional para uma abordagem experimental investigativa da Química Orgânica no Ensino Médio. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 3, 2021.

PLACE, B. J. Activity analysis of iron in water using a simple LED spectrophotometer. **Journal of Chemical Education**, v. 96, n. 4, p. 714-719, 2019.

POSTIGO, J. P. *et al.* Uma proposta para o ensino de laboratório de química analítica qualitativa. **Química Nova**, v. 44, p. 502-511, 2021.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, ECD. **Metodologia do Trabalho Científico**: Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REHMAN, F. Removal of crystal violet dye from aqueous solution by gamma irradiation. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 62, n. 1, p. 3359-3364, 2017.

ROCHA T. R.; CARVALHO, T. M.; FELÍCIO, C. M. Física quântica e misticismo no ensino de ciências. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e18791211131-e18791211131, 2020.

RODRIGUES, F. G. F.; BRIZOLA, A. Radiação de baixa frequência e possível influência nociva a sistemas biológicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, 2019.

ROSITO, B. A. O ensino de ciências e a experimentação. **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**, v. 3, p. 195-208, 2008.

ROSITO, B. A. O ensino de ciências e a experimentação. In: MORAES, R. (Org). **Construtivismo e ensino de ciências: reflexões epistemológicas e metodológicas**. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, p. 195-208, 2003.

SÁ, J. R. *et al.* Interação da Física das Radiações com o Cotidiano: uma prática multidisciplinar para o Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, 2016.

SALOMÃO, Y. L. A. Desenvolvimento de instrumentos de medidas físico-químicas utilizando a plataforma Arduino para o ensino de química em cursos técnicos de informática. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso.

SEFSTROM, C. Elaboração de material didático para o ensino de análise instrumental. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SHIDIQ, A. S.; PERMANASARI, A.; HERNANI, H. Simple, Portable, and Inexpensive Spectrophotometers for High Schools Lab Activity. **Advances in Social Science, Education and Humanities Research**, v. 438, p. 150-154, 2020.

SILVA, J.; LAIDENS, G. Laboratório de química analítica instrumental utilizando sistemas de aquisição de dados. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. 2000.

SILVA, M. A. G. T.; MACEDO, S. H. Ensino de eletromagnetismo aplicando álgebra visual no curso técnico. **RENOTE**, v. 14, n. 1, 2016.

SILVA, M. L. Aprendizagem e doutrinação. **Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 7, p. e27562-e27562, 2021.

SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. Experimental Sem Medo de Errar. In: SANTOS, W. L. P. S.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2010, p. 231-261

SILVA, W. R. F. Multifunctional webcam spectrophotometer for performing analytical determination and measurements of emission, absorption, and fluorescence spectra. 2021.

SKOOG; WEST; HOLLER; CROUCH. **Fundamentos de Química Analítica** São Paulo: Editora Thomson, 2006, tradução da 8ª Edição norte-americana.

SOUSA, A. G.; CHAGAS, F. W. M.; GOIS, L. C.; SILVA, J. G. Determinação condutométrica e potenciométrica de ácido acetilsalicílico em aspirina®: uma sugestão de prática para a análise instrumental. **Rev. Virtual Quim**, v. 10, n. 3, p. 502-517, 2018.

VAZ JUNIOR, S. Análise química instrumental e sua aplicação em controle de qualidade de biocombustíveis. **Embrapa Agroenergia-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2010.

VEIGA, M. S. M.; QUENENHENN, A.; CARGNIN, C. O ensino de química: algumas reflexões. I Jornada de Didática-O Ensino como FOCO-I Fórum de professores de Didática do Estado Do Paraná. UTFPR, 2012.

VICENTE, J. Determinação de surfactantes aniônicos em efluentes de postos revendedores de combustíveis da região da Grande Florianópolis. 2004. Universidade Federal de Santa Catarina.

VIEIRA, C. A.; SILVA, A. F. Experimentação no Ensino de Química: Oficinas para Produção de Produtos de Limpeza e de Higiene Pessoal em Escolas da Rede Pública Estadual do Município de Divinópolis-MG e Região. **Revista Brasileira de Educação e Cultura**, n. 14, p. 82-97, 2016

VILLATE. Ondas eletromagnéticas e luz. Disponível em: <<https://villate.org/eletricidade/ondas.html>>. Acesso em: 17 de Outubro de 2022. Il. color.

YAMASOE, M. A.; CORRÊA, M. P. **Processos radiativos na atmosfera**. Oficina de Textos, 2016.

YOUNDER. Pirâmide da aprendizagem: conceito e questionamentos. Disponível em: <<https://younder.com.br/blog/piramide-da-aprendizagem/>>. Acesso em: 12 de Novembro de 2022. Il. color.

APÊNDICE A - ROTEIRO EXPERIMENTAL PROPOSTO PARA OS DISCENTES DOS CURSOS DE FORMAÇÃO EM QUÍMICA.

I. Introdução

A espectrofotometria no ultravioleta-visível estuda as implicações relacionadas à passagem da radiação eletromagnética através de átomos ou de um conjunto de moléculas. Os fenômenos de interesse dessa área Química são os de absorção e emissão da luz, que são medidos através de parâmetros denominados absorvância e transmitância. Essas medidas fornecem uma base para determinar a concentração de um soluto em solução, além de serem capazes de fornecer espectros característicos de absorção ou emissão após tratamento matemático adequado.

Em se tratando das variadas aplicações da espectrofotometria, uma delas é de cunho ambiental, visando avaliar a qualidade da água. Nesse contexto, a Resolução 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente, traz os parâmetros de qualidade de água doce de classe 1, que são aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5 % e que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado (BRASIL, 2005).

Dentre esses parâmetros, há a especificação para substâncias tensoativas que reagem com azul de metileno. Tensoativos, ou surfactantes, por sua vez, são moléculas anfipáticas capazes de diminuir a tensão interfacial na superfície de contato de dois líquidos imiscíveis. Tais moléculas são amplamente utilizadas na produção de detergentes de uso comum em estabelecimentos comerciais para limpeza convencional. Entretanto, uma vez lançados no ambiente, os surfactantes podem vir a gerar problemas para os ecossistemas devido à formação de espuma e consequente toxicidade aquática (VICENTE, 2004).

Nesse sentido, a referida Resolução ambiental apresenta um limite máximo de 0,5 mg/L de Alquilbenzeno Sulfonato Linear (LAS), sendo este um surfactante aniônico (que apresenta cabeça polar e corpo apolar) amplamente

utilizado devido à sua alta detergência, e que pode ser obtido através da reação conjugada de um alquilbenzeno com ácido sulfúrico (MENEZES *et al.*, 2017).

Conforme mencionado, o LAS é capaz de reagir com o azul de metileno, que é um composto catiônico intensamente colorido. Essa interação se dá pela neutralização da carga positiva pelo grupo polar do surfactante, formando um complexo estável íon-associado. Esse composto, por sua vez, pode ser facilmente extraído da água através de solventes orgânicos, devido às cadeias alquílicas serem altamente hidrofóbicas. Resultado disso é que a quantidade de surfactante presente na amostra confere a intensidade da cor do complexo formado (MENEZES *et al.*, 2017).

II. Objetivo

Compreender/ressignificar princípios, conceitos e cálculos associados à análise espectrofotométrica.

III. Materiais e Equipamentos

01 Cubeta de vidro 10 mm, 3,5 mL

01 Funil de vidro

01 Pêra pipetadora

01 Pipeta graduada de 10 mL

01 Pipeta graduada de 5 mL

01 Proveta graduada de 25 mL

02 Balões volumétricos de 1L

07 Balões volumétricos de 250 mL

08 Balões volumétricos de 50 mL

09 Funis de separação de 500 mL

Água destilada

Álcool isopropílico P.A.

Amostra de água

Balança analítica

Clorofórmio P.A.

Dodecil sulfato de sódio P.A.

Espectrofotômetro de Arduíno

Papel de filtro faixa azul

pHmetro

Sol. Ácido sulfúrico 0,05 M

Sol. Azul de metileno 1 %

Sol. fosfato de sódio monobásico monoidratado 15 mg/mL

Sol. Hidróxido de sódio 0,1 M

IV. Questões pré-experimentais

- a. Faça uma busca sobre a molécula de azul de metileno. Em seguida, desenhe sua estrutura e cite algumas de suas aplicações no ramo da Química e Biologia.
- b. Avalie a molécula desenhada na “letra a”. Há possibilidade de ela ser capaz de absorver luz na região do visível do espectro eletromagnético? Justifique sua resposta.
- c. Como prever, aproximadamente, o λ máx de absorção de uma solução colorida? Seguindo seu raciocínio, qual a faixa de comprimento de onda correspondente ao λ máx esperado para uma solução de azul de metileno?

V. Métodos

- i. Pesar 1 g de dodecilsulfato de sódio e transferir para um balão volumétrico de 1 L. Dissolver com água destilada e completar o volume com o mesmo solvente (1 mg/mL).
 - ii. Transferir 10 mL dessa solução para um balão volumétrico de 1 L. Completar o volume com água (0,01 mg/mL).
 - iii. Realizar diluições sucessivas para um volume final de 250 mL, de modo a se obterem soluções de concentração 0,08, 0,1, 0,12, 0,14, 0,16, 0,18 e 0,2 µg/mL.
 - iv. Transferir as soluções, individualmente, para funil de separação de 500 mL, e ajustar o pH a $7,0 \pm 0,1$ utilizando hidróxido de sódio 0,1 M ou ácido sulfúrico 0,05 M.
 - v. Adicionar 25 mL de solução de azul de metileno.
 - vi. Adicionar 1 mL de álcool isopropílico (pesquisar qual a função desse substância nesse caso).
 - vii. Realizar três extrações sucessivas com alíquotas de 10 mL de clorofórmio em cada vez.
 - viii. Recolher as fases orgânicas para balão volumétrico de 50 mL e completar o volume com clorofórmio.
- Observação: manter as soluções-padrão à parte para posterior leitura.
- ix. Filtrar uma alíquota de 250 mL da amostra de água em funil de vidro e papel filtro faixa azul.
 - x. Ajustar o pH a $7,0 \pm 0,1$ utilizando hidróxido de sódio 0,1 M ou ácido sulfúrico 0,05 M.
 - xi. Transferir a solução para funil de separação de 500 mL, e ajustar o pH a $7,0 \pm 0,1$ utilizando hidróxido de sódio 0,1 M ou ácido sulfúrico 0,05 M.
 - xii. Adicionar 25 mL de solução de azul de metileno.
 - xiii. Adicionar 1 mL de álcool isopropílico.

- xiv. Realizar três extrações sucessivas com alíquotas de 10 mL de clorofórmio em cada vez.
- xv. Recolher as fases orgânicas para outro funil de separação de 500 mL e adicionar 50 mL de sol. fosfato de sódio monobásico monoidratado 15 mg/mL (para remoção de interferentes).
- xvi. Recolher a fase orgânica para balão volumétrico de 50 mL e completar o volume com clorofórmio.
- xvii. Realizar medição da luz incidente diretamente no sensor, na faixa de comprimento de onda correspondente ao λ máx de absorção.
- xviii. Realizar medições em triplicata da solução branco (clorofórmio), na faixa de comprimento de onda correspondente ao λ máx de absorção.
- xix. Realizar medições em triplicata das soluções-padrão, na faixa de comprimento de onda correspondente ao λ máx de absorção.
- xx. Realizar medições em triplicata da solução amostra na faixa de comprimento de onda correspondente ao λ máx de absorção.

VI. Resultados

- a. Registre os dados brutos obtidos para leitura (lux) da luz incidente diretamente no detector, branco, replicatas das soluções-padrão e replicatas da solução amostra.
- b. Calcule a média das leituras (lux).
- c. Realize a conversão dos dados brutos para absorbância, utilizando a Lei de Beer-Lambert em termos de incidência de radiação, levando em consideração a leitura do branco.

VII. Questões pós-experimentais

- a. Construa uma curva de calibração de absorbância x concentração com os resultados obtidos para as soluções-padrão.

- b. Avalie a equação da reta, a linha de tendência e o coeficiente de determinação da curva construída. Qual a proporcionalidade entre absorbância e concentração observada? Seus resultados concordam com a Lei de Beer-Lambert? Justifique quimicamente sua resposta.
- c. Calcule a concentração de LAS na amostra de água a partir da absorbância calculada e dados da equação da reta construída. O resultado obtido está dentro do preconizado na legislação?
- d. Disserte sobre os desvios da Lei de Beer-Lambert e relate em quais condições é mais provável que eles ocorram. Você observou algum desvio em suas medições? Se sim, a que você atribui isso?
- e. Faça uma busca na literatura científica de um espectro de absorção de azul de metileno na região da luz visível. O λ máx observado condiz, aproximadamente, com aquele que você previu para as medições realizadas? O que isso significa?
- f. O que você esperaria que ocorresse com a absorbância caso as soluções-padrão fossem medidas na faixa de comprimento de onda correspondente à cor azul? Justifique quimicamente a sua resposta.