

CONSTRUÇÃO DE ESPECTROFOTÔMETRO VISÍVEL PARA FINS DIDÁTICOS

CONSTRUCTION OF VISIBLE SPECTROPHOTOMETER FOR DIDACTIC STUDIES

CAMILLA LANA ROSA¹, FRANCIELE PRISCILA DE OLIVEIRA SOUZA MARTINS², RILDO DOS SANTOS ARANTES³, VANDERSON MAURICIO DA SILVA⁴, TIAGO MARCEL OLIVEIRA⁵, WILLIAM ARGOLO SALIBA^{6*}

1.Aluna do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 2.Aluna do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 3. Aluno do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 4. Aluno do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga; 5. Professor do curso de Engenharia da Faculdade Única de Ipatinga. 6.Professor do curso de Engenharia da Faculdade Única de Ipatinga.

* Rua Salermo299, Bairro Bethânia, Ipatinga, Minas Gerais, Brasil. CEP:35164-779. engenhariaquimica@unicaipatinga.com.br

Recebido em 19/12/2018. Aceito para publicação em 31/01/2019

RESUMO

Espectroscopia é a técnica de absorção que estuda as interações da luz com as moléculas de um determinado composto. O espectrofotômetro é o equipamento que quantifica estas interações e traduz em respostas analíticas em laboratório. Foi desenvolvido um espectrofotômetro visível (vis) para análises de espectros na região do visível, utilizando materiais de baixo custo e facilmente encontrados no mercado, com intuito de facilitar o acesso de alunos de instituições de ensino à materialização do conhecimento didático com a prática laboratorial. Como base teórica foi utilizada a lei de Lambert-Beer. Para estrutura do equipamento foi utilizado um gabinete de desktop, na qual foi montado os demais componentes do espectrofotômetro. Os espectros foram obtidos a partir de um CD, cortado em forma triangular e a obtenção de gráficos será feita através do software PLX-DAQ, mediante a conversão de sinais recebidos da placa de Arduino UNO. O espectrofotômetro construído demonstrou-se preciso para fins didáticos, pois os valores encontrados apresentaram repetitividade, podendo ser aplicado um ajuste na curva de calibração.

PALAVRAS-CHAVE: Espectroscopia, espectro, espectrofotômetro, análise, conhecimento didático.

ABSTRACT

Spectroscopy is the absorption technique that studies the interactions of light with the molecules of a given compound. The spectrophotometer is the equipment that quantifies these interactions and translates into laboratory analytical responses. A visible (vis) spectrophotometer was developed for analysis of spectra in the visible region, using low cost materials easily found in the market, in order to facilitate the access of students from educational institutions to the materialization of didactic knowledge and laboratory practice. As a theoretical basis, the Lambert-Beer law was used. For the structure of the equipment a desktop cabinet was used, in which the other components of the spectrophotometer were assembled. The spectra were obtained from a CD, cut in triangular form and the graphing will be done through the software PLX-DAQ, by means of the conversion of signals received from the plate of Arduino UNO. The built spectrophotometer proved to be accurate for didactic

purposes, since the values found presented repeatability, and an adjustment could be applied to the calibration curve.

KEYWORDS: Spectroscopy, spectrum, spectrophotometer, analyze, didactic knowledge

1. INTRODUÇÃO

É constante, em análises químicas, a necessidade de detecção de substâncias de forma qualitativa e quantitativa. A espectrofotometria é uma técnica muito usual que realiza análises, identificando e determinando a concentração das substâncias, conforme estas interagem com a luz. A análise espectrofotométrica realiza análises de diferentes compostos orgânicos (nitrogenados, fármacos, fenóis e gorduras), inorgânicos (íons como fosfato, nitrato e sulfato, amônia, elementos metálicos em geral, na forma de complexo), fornecendo resultados rápidos e precisos.

Para ocorrer absorção molecular, é necessário que ocorram mudanças no momento de dipolo elétrico das moléculas e a presença de grupo(s) cromóforo(s) nessas onde acontecem as transições dos elétrons dos orbitais π ligante para orbitais π^* antiligantes e dos orbitais não-ligantes para os orbitais antiligante¹³.

Os espectrofotômetros são aparelhos que detectam a transmitância em função do comprimento de onda, derivando em um espectro de absorção. Cada espécie química possui uma identificação espectrofotométrica. O funcionamento do aparelho consiste na seleção de radiações monocromáticas, possibilitando uma vasta quantidade de detecção quantitativa de acordo com a lei de Beer⁴.

O equipamento construído visa concretizar o conhecimento abstrato aprendido em sala através da prática laboratorial, suprimindo a carência de conhecimento prático dos discentes, por causa da escassez de equipamentos de análises químicas nos laboratórios das instituições de ensino⁶.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um espectrofotômetro visível, utilizando materiais de baixo custo e facilmente encontrados no mercado.

O equipamento foi confeccionado a partir de materiais de baixo custo, empregando o decodificador Arduino UNO, que transmite os dados do equipamento para o computador, no qual, o PLX-DAQ é o responsável pela coleta de dados e plotagem de gráficos no MS Excel, sendo possível estabelecer uma curva de calibração a partir de soluções com concentrações conhecidas tornando o aparelho válido para a análise de soluções.

Princípios Físicos da Espectrometria

Espectro eletromagnético

Há séculos o homem vem estudando a emissão da luz, desses estudos surgiu uma gama de teorias, hipóteses e equipamentos com capacidade de detectar a emissão e o comprimento de onda da luz. Os estudos levaram a descoberta de vários tipos de ondas eletromagnéticas que são constituídas de campos elétricos e campos magnéticos. Na Figura 1 estão representadas as ondas eletromagnéticas, onde os campos elétricos e magnéticos oscilam perpendicularmente entre si^{11,16}.

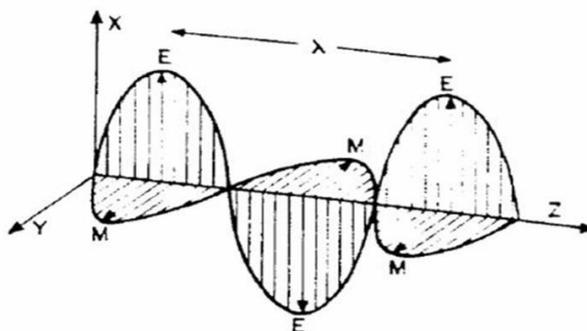


Figura 1. Flutuações dos campos elétricos e magnéticos de uma onda. **Fonte:** (Novo, 1989)

Onde temos:

E: campo elétrico

M: campo magnético

λ : comprimento de onda

XZ: plano de excitação do campo elétrico

YZ: plano de excitação do campo magnético

Z: direção de propagação da onda eletromagnética

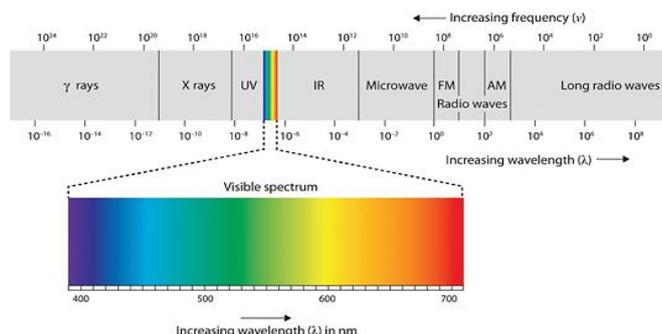


Figura 2. Espectro da radiação eletromagnética. **Fonte:** Pereira & Rafael, 2016.

O espectro eletromagnético, faixa completa das radiações eletromagnéticas, está ilustrado na Figura 2¹⁴.

A radiação emite e propaga energia de um ponto a outro, seja no vácuo ou num meio material. Isto pode ocorrer através de fenômenos ondulatórios ou por partículas com energia cinética, que no vácuo, se propagam com a velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s)^{14,16}.

Espectrofotometria no UV-VIS

A espectrofotometria na região do UV-Visível é um método analítico muito utilizado em laboratórios de análise química, que se baseia na medida da quantidade de REM (radiação eletromagnética) absorvida por espécies moleculares. A molécula quando estimulada com radiação com faixa de frequência na região do visível, absorve parte desta energia que a faz realizar transições eletrônicas, passando para estados excitados (maior energia)^{10,12,15}.

Os elétrons absorvem diferentes quantidades de energia provenientes das radiações eletromagnéticas, que dependem da estrutura molecular do composto analisado, para que ocorram as excitações eletrônicas. Portanto cada molécula possui um espectro de absorção de luz característico, que permitem a sua identificação¹.

Lei de Lambert-Beer

A Lei de Lambert-Beer fundamenta a espectrofotometria, pois aborda simultaneamente a absorvância e a transmitância da luz atravessa uma amostra. Esses parâmetros estão relacionados com a concentração do soluto e com a espessura do recipiente que contém a solução⁵.

Lambert observou que no momento em que um feixe luz monocromática era projetado sobre um meio transparente, este meio absorvia em cada uma de suas camadas uma fração igual da luz que por este meio passava, isso acontecia não importando o quanto era intensa a luz que incidia sobre o meio^{3,8}.

A lei de Lambert é descrita pela equação:

$$I = I_0 \cdot 10^{-xI} \quad (1)$$

Onde:

I = Intensidade da luz transmitida

I₀ = Intensidade da luz incidente

x = constante denominada *coeficiente de absorção* e que depende do meio absorvente empregado

I = Espessura do meio absorvente

Beer observou que a intensidade de luz absorvida por uma solução eleva com o aumento da concentração dessa².

Segundo Batista, 2014 a lei de Beer é expressa pela equação:

$$I = I_0 \cdot 10^{-kc} \quad (2)$$

Onde:

I = Intensidade da luz transmitida

I₀ = Intensidade da luz incidente

k = Coeficiente de absorção

c = Concentração do meio absorvente

A partir das equações das leis de Lambert e de Beer foi obtida a equação de Lambert-Beer expressa por:

$$T = e^{-a \cdot l \cdot c} \quad (3)$$

Onde:

T = Transmitância

e = Logaritmo Natural de Euler

a = Constante

l = Espessura da solução

c = Concentração da solução (cor)

Retirando o exponencial com o uso de logaritmo temos:

$$-\log T = a \cdot l \cdot c \quad (4)^3$$

Desvio da Lei de Lambert-Beer

O desvio na lei de Lambert-Beer é observado quando é utilizado soluções com altas concentrações. No gráfico representado na Figura 3, observa-se a perda de linearidade no momento em que a concentração do soluto aumenta².

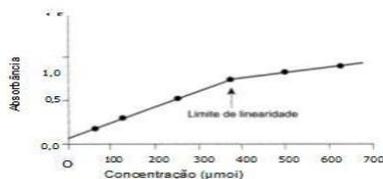


Figura 3. Gráfico absorbância em função da concentração da solução. **Fonte:** Barros (2014)²

Espectrofotômetro

Os espectrofotômetros são aparelhos que detectam a transmitância em função do comprimento de onda, derivando em um espectro de absorção. Cada espécie química possui uma identificação no espectro. O funcionamento do aparelho consiste na seleção de radiações monocromáticas, possibilitando uma vasta quantidade de detecção quantitativa de acordo com a lei de Beer².

Funcionamento

O modo de funcionamento ocorre da seguinte forma: a fonte de radiação percorre uma fenda onde é difratada através de um prisma ou outro elemento difrativo como o CD até a fenda de saída para a seleção do comprimento de onda, percorre o recipiente (cubeta) em que a amostra em estado líquido será analisada, os comprimentos de onda não refletidos pela amostra são identificados no detector conforme ilustra a Figura 4.

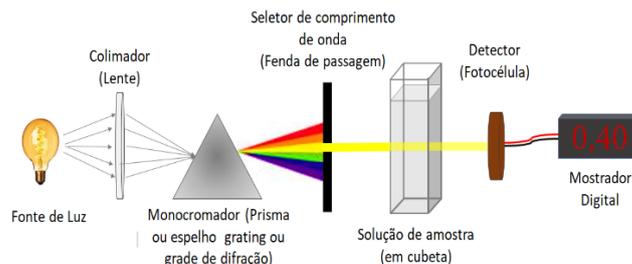


Figura 4. Esquema de funcionamento interno de um espectrofotômetro. **Fonte:** Martinez (2014)⁹. Adaptado pelos autores.

A radiação luminosa que incide na amostra tem o objetivo de gerar duas medidas: refletância, transmitância ou transfectância. Parte da radiação que não é absorvida pela amostra, atinge o detector que gera a decodificação da energia luminosa em diferentes comprimentos de onda, resultando o espectro da amostra⁷.

Dentre os espectrofotômetros no UV-visível comercializados existem dois tipos de feixe, o monocromático e o duplo-feixe. O monocromático analisa o branco (a solução padrão) primeiro e posteriormente a solução a ser detectado, sendo a transmitância indicada em um galvanômetro. O espectrofotômetro de duplo-feixe analisa o branco simultaneamente com solução através de dois transdutores distintos, e o branco é posicionado na trajetória ótica dos dois feixes⁵.

O espectrofotômetro calcula a razão entre a eficiência de dois feixes, possibilitando o cálculo da transmitância/absorbância¹¹.

Com base nos dois tipos de espectrofotômetros citados anteriormente, optou-se pela construção do espectrofotômetro monocromático de feixe único.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Metodologia da Montagem do Espectrofotômetro

Para a montagem do espectrofotômetro utilizou-se um gabinete de desktop (1) com dimensões aproximadas de: 430 mm x 410 mm x 180 mm. O circuito elétrico foi adaptado ao gabinete, utilizando a fonte de alimentação (2) do próprio desktop podendo ser utilizada em 110V ou 220V. Para alimentar as luzes do canhão e do equipamento foi utilizada a saída de 5 volts localizada fonte. O canhão de luz (3) foi construído utilizando um tubo de PVC de diâmetro 3/4" e 100 mm de comprimento, onde em uma das extremidades foi acoplado um tampão de 3/4" com um furo centralizado contendo um LED de alto brilho que foi utilizado como fonte de iluminação. Na outra extremidade do tubo, o diâmetro foi aumentado para 30 mm, visando encaixar uma lupa convexa de ampliação em 10 vezes. O canhão de luz foi montado no interior do gabinete utilizando uma abraçadeira metálica tipo "D" com cunha. Para decompor a luz (rede de difração) (4) em faixas utilizou-se um CD cortado em forma triangular nas dimensões 55 mm x 45 mm, conectado à uma caixa de redução de 1:8 movimentada por um

micro Servo-Motor 9g. Para abrigar este foi elaborado um alojamento com madeira onde o micro Servo-Motor pudesse ser retirado quando necessário.

Para encaixar a cubeta, foi criado um recipiente⁵ confeccionado utilizando madeira com as seguintes dimensões: 30 mm x 25 mm x 80 mm e uma fenda de 1 mm x 15 mm para a entrada do espectro que incidirá sobre a amostra. Na parte posterior do alojamento foi feito um furo de 5 mm para a entrada do LDR, que será utilizado para a leitura da absorbância. Para controle do servo-motor e leitura do dos sinais emitidos pelo LDR foi utilizado uma placa de Arduino UNO⁶. O interior do espectrofotômetro construído está representado na Figura 5.

Todo o sistema foi testado e montado utilizando uma placa *protoboard*. Os comandos transmitidos para a placa Arduino foram programados no software Arduino, versão 1.0.5-r2, sendo o download feito na própria página do fabricante. O tratamento dos dados transmitidos, pelo Arduino, foi realizado pelo software PLX-DAQ e MSO Excel instalado em um Notebook. O alojamento da placa Arduino e placa *protoboard* foi construído nas dimensões de 120 mm x 120 mm x 80 mm e acoplado no interior do gabinete.



Figura 5. Interior do espectrofotômetro. Fonte: Autores (2018).



Figura 6. Componentes do espectrofotômetro. Fonte: Autores (2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para validar o equipamento foram realizadas análises de soluções de sulfato de cobre penta hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(5)}$) nas seguintes concentrações (mol/L): 1×10^{-3} , 2×10^{-3} , 4×10^{-3} , 6×10^{-3} , 8×10^{-3} , 1×10^{-2} . O espectro de varredura do sulfato de cobre penta hidratado está

ilustrado na Figura 7, onde observa-se a maior absorbância na faixa entre 580 e 610 nm.

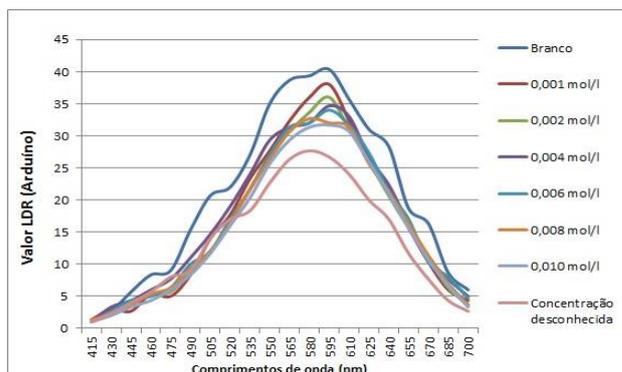


Figura 7. Espectro de varredura $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(5)}$. Fonte: Autores (2018).

Os resultados obtidos da análise espectrofotométrica utilizando o equipamento construído estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Valores obtidos da análise espectrofotométrica.

Valor LDR (Arduino)	40	38	36	35	34	33	32
Concentração (mol/l)	Branco	0,001	0,002	0,004	0,006	0,008	0,01
Absorbância	-	0,022	0,046	0,058	0,071	0,084	0,097

A partir dos valores obtidos ($\lambda=590$ nm) foram calculadas as absorbâncias das soluções e posteriormente foi plotado um gráfico com esses dados, obtendo-se uma curva analítica e a linha de tendência por regressão linear, conforme apresentado na Figura 8.

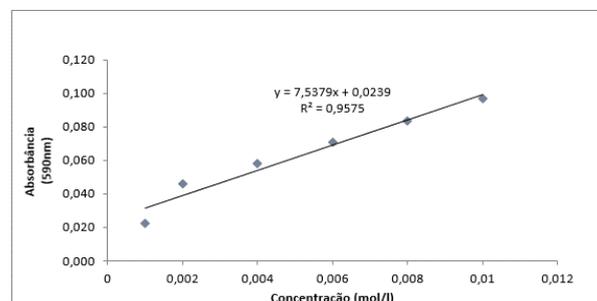


Figura 8. Curva de absorbância das soluções de $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(5)}$. Fonte: Autores (2018).

Pode-se observar que ao aumentar a concentração das soluções, a absorbância aumenta proporcionalmente, conforme é descrito na Lei de Lambert-Beer.

A equação da reta demonstra correlação entre as variáveis absorbância e concentração, uma vez que, o valor de coeficiente de determinação é próximo de 1 ($R^2 = 0,9575$). De acordo com este resultado, 95,75% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo.

A equação da reta obtida é: $y = 7,5379x + 0,0239$, onde y é a absorbância e x é a concentração das soluções.

Depois de encontrada a curva de calibração para o sulfato de cobre, foi inserida uma amostra de concentração desconhecida desse mesmo composto químico, no equipamento e obteve-se os valores da

análise espectrofotométrica. Repetiu-se a leitura três vezes e posteriormente calculou-se a média aritmética das absorvâncias (tabela 2).

Tabela 2. Valores obtidos, cálculos de absorvâncias e concentrações da solução desconhecida.

				Média
Valor LDR (Arduino)	28	27	27	27
Concentração (mol/l)	0,017	0,019	0,019	0,019
Absorvância	0,155	0,171	0,171	0,165

Para validação dos resultados, analisou-se a mesma amostra de concentração desconhecida de sulfato de cobre penta hidratada, em um espectrofotômetro de marca Biospectro modelo SP-220 (Figura 9).



Figura 9. Espectrofotômetro Biospectro SP-220. **Fonte:** Autores, 2018.

Na tabela 3 é apresentada a especificação do equipamento Biospectro SP-220.

Tabela 3. Especificação do equipamento Biospectro SP-220.

Faixa de comprimento de onda	200 a 1000 nm
Banda de passagem	5 nm
Precisão do comprimento de onda	± 2 nm
Varredura do comprimento de onda	Manual
Reprodutibilidade	1 nm
Faixa radiante de dispersão	≤ 0,5% T em 220 nm e 340 nm
Faixa fotométrica	0% T a 12,0% T, 0 A a 2,5 A, 0C a 1999 (0 – 1999F).
Estabilidade	± 0,003 A/h
Precisão fotométrica	± 1%
Detector	Detector tipo fotodiodo de silicone
Display	Display LCD de 2 linhas que permite a leitura de até 20 caracteres
Estrutura	Estrutura em plástico ABS resistente
Dimensões (alt x Prof x larg)	18,0 x 42,0 x 47,5 cm
Peso	11,5 kg
Voltagem	110/220 volts (50/60 Hz), com chave seletora localizada na parte posterior

Fonte: Manual do equipamento

Foi selecionado o comprimento de onda de 590 nm (valor estimado no equipamento artesanal para criar a curva de calibração), obtendo-se os valores de absorvância apresentados na tabela 4. A partir desses,

calculou-se a concentração da solução. Sabendo-se que o coeficiente de absorvidade molar do sulfato de cobre (II) é de 2,81 M⁻¹cm⁻¹ e a espessura da cubeta é de 1 cm podemos então aplicar a lei de Lambert-Beer.

$$A=dc \quad (5)$$

Reorganizando a equação para encontrar o valor da concentração c .

$$c=A/dl \quad (6)$$

Os resultados das concentrações calculadas são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Valores obtidos de absorvâncias e concentrações da solução desconhecida

Absorvância	0,014	0,017	0,019
Concentração (mol/l)	0,005	0,006	0,007

4. CONCLUSÃO

O espectrofotômetro construído demonstrou-se preciso, pois os valores encontrados apresentaram repetitividade, porém, ao comparar os resultados com os dados obtidos a partir de um equipamento comercial, observa-se uma discordância entre esses, podendo ser aplicada uma correção para ajustar a curva de calibração do equipamento construído.

A construção do espectrofotômetro teve um valor aproximado de R\$150,00, visto que foi utilizado materiais facilmente encontrados no mercado e reutilizados.

Com a utilização da placa Arduino em conjunto com o PLX-DAQ e Microsoft Excel, pode-se plotar o gráfico e verificar qual a faixa de comprimento de onda de maior intensidade de absorvância do sulfato de cobre penta hidratado.

REFERÊNCIAS

- [1] Almeida JM. Espectrofotometria UV-Vis. 2018. Apresentação (Mestrado em Química Analítica) Faculdade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2018. Disponível em: <www.ufjf.br/baccan/files/2010/10/Aula-2-UV-Vis-1o-Sem-2018-parte-1.pdf>. Acesso em: 04 de Março de 2018.
- [2] Barros TRB. Estudo de adsorção de chumbo II de efluentes utilizando casca de abacaxi como biomassa adsorvente, 2014. Monografia (Graduação em Química Industrial) Universidade Estadual Da Paraíba. Paraíba, 2014. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3681/1/PDF%20-%20Thiago%20Rodrigo%20Barbosa%20Barros.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2018
- [3] Batista TS. Estudo de adsorção de metais pesados de efluentes utilizando a casca da tangerina como biomassa adsorvente, 2014. Monografia (Graduação em Química Industrial) Universidade Estadual Da Paraíba. Paraíba, 2014. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/1234567

- 89/3680/1/PDF%20-%20Thianne%20Silva%20Batista.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2018
- [4] CarusoF, Oguri V. Origens do Conceito de Fóton. 2.ed. Revista Ciência e Sociedade, 2016. Disponível em: <<http://revistas.cbpf.br/index.php/CS/article/view/206/149>> . Acesso em: 18 de maio de 2018.
- [5] Cipriano A. Tecnologias baseadas na luz: abordagem contextualizada e interdisciplinar entre física e química. 2017. Dissertação (Pós Graduação em Física) Universidade federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/182505/Tecnologias%20baseadas%20na%20luz%20corrigida1%20protegido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 15 de maio de 2018
- [6] Eberhardt D, Filho JBR, Lahm RA. Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs.ed. 34. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 2017. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p928>> . Acesso em: 13 de maio de 2018.
- [7] Jardim MA. Estudo e validação de um espectrofotômetro infravermelho próximo portátil para análise in situ. 2016. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/321835/1/Jardim_MatheusAngeluzzi_M.pdf> acessado em 15 de maio de 2018.
- [8] LemosAM, Noble AP,Segat HJ, Alexandre ID, Pappis L, Nunes LT. etal.Espectroscopia visível e ultravioleta. 2009. Trabalho Interdisciplinar (Graduação em Química) Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <w3.ufsm.br/piquini/biomol09/espectroscopia_UV_Visivel.doc>. Acesso em: 30 novembro 2017.
- [9] Martinez M. Espectrofotômetro. 2014. Infoescola [Periódicos na Internet] Disponível em: <<http://www.infoescola.com/materiais-de-laboratorio/espectrofotometro/>>. Acesso em 15 de maio de 2018.
- [10] OkumuraF; Cavalheiro ETG.; Nóbrega JA. Experimentos simples usando fotometria de chama para ensino de princípios de espectrometria atômica em cursos de química analítica. 27. Ed. Revista Química Nova. 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422004000500026>>. Acesso em: 06 de setembro de 2018.
- [11] Oliveira HJS. Desenvolvimento de um espectrofotômetro para medidas de absorção/emissão na região do visível utilizando mini lâmpada incandescente, mídia de DVD e smartphone. Dissertação (Pós Graduação em Química) Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 2015. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br:8080/handle/tede/8187>> . Acesso em 14 de maio de 2018.
- [12] Pereira RJ. Sequência didática para o ensino de ondas eletromagnéticas no 9º ano do ensino fundamental por meio de uma situação-problema. Dissertação (Mestrado de ensino de Física) Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais. 2016.Disponível em: <http://www.ufjf.br/profis/files/2017/01/Produto_Rafael_Final.pdf>.Acesso em 15 de maio de 2018
- [13] Ponte AS. Desenvolvimento de um fotômetro LED-Visportátilmicrocontroladopor Arduino. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. 2014. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br:8080/handle/tede/7136>> Acesso em: 14 de maio de 2018
- [14] Salício CU. O Espectro eletromagnético e as interações de cada faixa espectral com a matéria. Física Ótica (Periódicos de Internet) disponível em: <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=957513>> Acesso em: 10 de junho de 2018.
- [15] Sasaki KT. Espectrofotometria de absorção: Princípios gerais. Revista UNESP (Periódicos de Internet).Disponível em: <<http://www.foa.unesp.br/include/arquivos/foa/dpto/files/espectrofotometria-de-absorcao.pdf>>. Acesso em: 23 de junho de 2018.
- [16] Silveira MV. A percepção da cor – abordagens didáticas para o ensino. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2016_Marcio_Velloso/dissertacao_Marcio_Velloso.pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2018