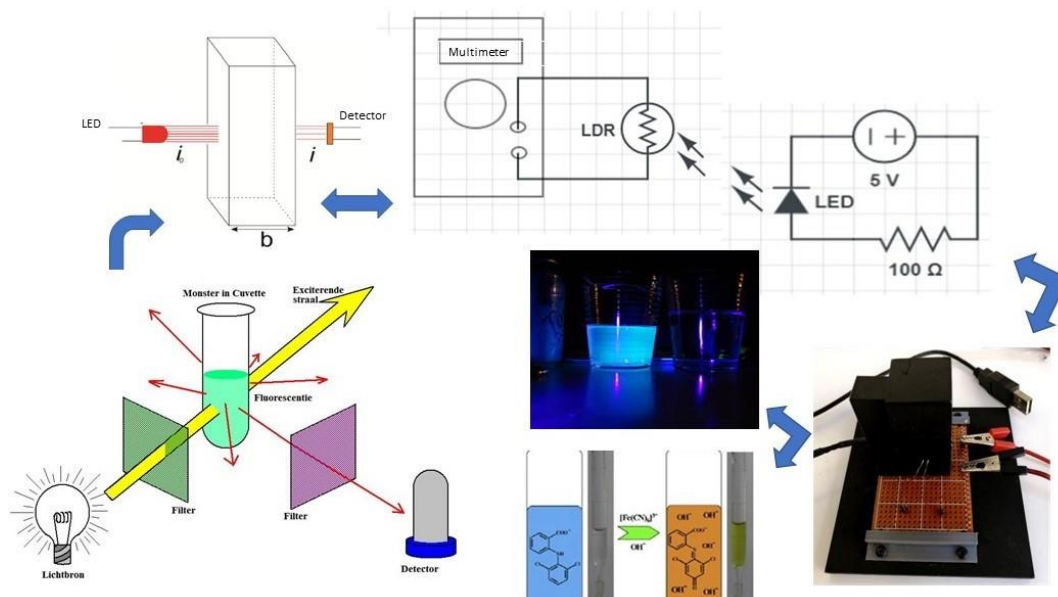


## GRAPHICAL ABSTRACT



### CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO MULTIFUNCIONAL DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISES FLUORIMÉTRICAS E FOTOMÉTRICAS: UMA OPÇÃO PARA ABORDAGENS CONTEXTUALIZADAS NO ENSINO MÉDIO

#### CONSTRUCTION OF A LOW-COST MULTIFUNCTIONAL EQUIPMENT FOR FLUORIMETRIC AND PHOTOMETRIC ANALYSIS: AN OPTION FOR CONTEXTUALIZED APPROACHES IN HIGH SCHOOL

Marriete Gonçalves Simões<sup>1</sup><sup>\*</sup>, e Willian Toito Suarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa, Av. P H Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900 Brasil

\* marrygsimoes@gmail.com

Artigo submetido em 10/09/2023, aceito em 11/02/2024 e publicado em 25/03/2025.

ORCID – Marriete Gonçalves Simões: <https://orcid.org/0009-0009-5317-725X>

ORCID – Willian Toito Suarez: <https://orcid.org/0000-0002-0714-2859>

**Resumo:** Este trabalho visa promover a reflexão acerca da necessidade de interconexão entre conteúdos relacionados à luz nas disciplinas de Física e Química na atualidade e oferecer uma alternativa para a correlação dos mesmos através da transposição de abordagens interdisciplinares, de forma experimental, contextualizada e transdisciplinar. Para tal, realiza-se uma retrospectiva histórica abrangendo as principais descobertas acerca da natureza da luz, além da descrição e explicação dos principais conceitos relacionados à fotometria e fluorimetria, de forma multidisciplinar. Para a abordagem experimental, realizou-se a construção de um equipamento multifuncional de baixo custo para a realização de análises fotométricas e fluorimétricas, assim como sua aplicação na determinação do teor de quinino em água tônica e diclofenaco de sódio em medicamentos. Objetivou-se minimizar a lacuna existente no processo de ensino e aprendizagem, visando proporcionar ao discente a possibilidade de compreender como os conceitos teóricos sobre o modelo de Bohr, em Química e as ondas, em Física, estão intimamente relacionados com tecnologias presentes em seu cotidiano e como as análises quantitativas e qualitativas são de fundamental importância nos dias atuais. O equipamento proposto tem sua construção descrita com detalhes e os testes realizados apresentaram resultados correspondentes a 98% do método de comparação na determinação de quinina em água tônica e recuperação acima de 95% no ensaio de adição e recuperação para determinação de diclofenaco em medicamentos, o que indica viabilidade para a sua reprodução no ensino.

**Palavras-chave:** Fotometria; Fluorimetria; Experimentação.

**Abstract:** This work aims to promote reflection on the need for interconnection between current content related to light in the disciplines of Physics and Chemistry and to offer an alternative for their correlation through the transposition of interdisciplinary approaches, in an experimental, contextualized and transdisciplinary way. To this end, a historical retrospective was carried out covering the main discoveries about the nature of light, in addition to the description and explanation of the main concepts related to photometry and fluorimetry, in a multidisciplinary way. For the experimental approach, a low cost equipment was built for photometric and fluorimetric analysis, as well as its application in determining the content of quinine in tonic water and sodium diclofenac in medicines. The objective was to minimize the gap in the teaching and learning process, aiming to provide students with the possibility to understand how the theoretical concepts about the Bohr model in Chemistry and waves, in Physics, are closely related to technologies present in their daily lives and to the manner in which quantitative and qualitative analyzes are fundamentally important nowadays. The proposed equipment has its construction described in detail and the tests performed showed results corresponding to 98% of the comparison method in the determination of quinine in tonic water and recovery above 95% in the addition and recovery test for the determination of diclofenac in medicines, the which indicates viability for its reproduction in teaching.

**Keywords:** Photometry; Fluorimetry; Experimentation.

## 1 INTRODUÇÃO

A teoria da natureza corpuscular da luz por Isaac Newton (1642-1727), seguida pelos estudos da radiação infravermelha (IR) e da radiação ultravioleta (UV) permitiram o desenvolvimento de inúmeros equipamentos voltados para o estudo da estrutura atômica/molecular e da composição quantitativa e qualitativa dos materiais, impactando significativamente o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (RIBEIRO E SONODA, 2022).

O primeiro contato do estudante com teorias sobre a natureza da luz ocorre nos anos finais do Ensino Fundamental ou nos anos iniciais do Ensino Médio, com abordagens predominantemente teóricas (CONCEIÇÃO, 2021), devido à escassez de recursos e equipamentos de laboratórios nas instituições de ensino (AMAYA et. al., 2022; PIASSALONGA, 2022; LAMARCA, LIMA, 2020).

Este trabalho busca propor a construção de um equipamento educacional de baixo custo voltado para análises fotométricas e fluorimétricas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O ENSINO DE FÍSICO-QUÍMICA NA ATUALIDADE

Embora a Física Quântica tenha se estabelecido como ponto de partida para as tecnologias de última geração, presente nas áreas de Tecnologia da Informação e Comunicação, na medicina, nos dispositivos ópticos e na nanotecnologia, percebe-se que o atual Ensino Médio prioriza majoritariamente os estudos da Física Clássica, restringindo os conteúdos à ciência de 100 anos atrás, omitindo o gigantesco desenvolvimento ocorrido após o século XX (FEITOSA et. al., 2020), raramente citando fenômenos quânticos. Para Nunes e Macedo (2019), a inclusão de tópicos de Física Quântica nos currículos é

necessária e urgente, sendo inadmissível que os jovens da atualidade desconheçam os princípios básicos que regem as tecnologias que fazem parte de suas vidas.

Atividades experimentais podem ser muito úteis para complementar, fixar e apresentar conteúdos que apenas em teoria são considerados demasiadamente complexos ou inacessíveis, em um múltiplo espaço heurístico, capaz de atualizar e informar sobre as tecnologias utilizadas atualmente (GONÇALVES, 2023; HOPPE, 2021; SANTOS E MENEZES, 2020). Toda esta construção deve ser realizada de forma cautelosa, através da transposição didática e respeitando a capacidade cognitiva dos alunos, através de uma metodologia que selecione e adapte o conhecimento científico de acordo com o público ao qual se destina (NUNES, MACEDO, 2019; AMAYA, 2022).

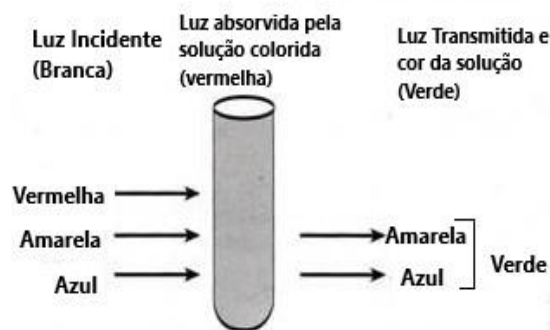
### 2.2 ABSORBÂNCIA/TRANSMITÂNCIA MOLECULAR NO UV- VIS

Ao incidirmos luz sobre uma solução contendo moléculas capazes de absorver a radiação eletromagnética, parte da energia é absorvida e o restante é transmitida, devido ao absorvedor ou à diferença do índice de refração entre o meio da solução e o meio onde a radiação se propaga (CUSTODIO; KUBOTA; ANDRADE, 2018). Quanto mais concentrada esta solução, menor a energia resultante após da absorção da radiação pelas moléculas absorventes. A espessura da solução também interfere na absorção da luz: se considerarmos que a solução se encontra em um recipiente onde o caminho percorrido pela luz será maior, a absorção tenderá ao aumento, resultando em menor emissão de luz após a passagem da radiação incidente (PIASSALONGA, 2022; AVILA et. al.2021). Conclui-se que em uma solução concentrada, a absorção será maior que na mesma solução diluída. Isto explica

a maior intensidade da tonalidade na primeira, quando enxergamos a cor por ela transmitida (MENDES; BENFATO, 2010).

A absorção de energia por uma solução se dá quando o fóton fornece exatamente a energia necessária para excitar a molécula ou átomo. Por isso, o feixe de luz utilizado em uma dosagem colorimétrica deve ser analisado, sendo indicada a escolha daquele que apresentar o comprimento de onda ideal para que se promova maior absorção.

Figura 1: Absorbância e Transmitância



Fonte: Mendes e Benfato (2010)

Custodio, Kubota e Andrade (2018) afirmam que a quantidade de radiação absorvida por uma amostra é chamada potência radiante e corresponde à quantidade de energia por unidade de tempo, medida em Watt. Como a direção influencia na medição, é indicada a definição desta grandeza em um plano perpendicular à direção do fluxo da luz monocromática. Conclui-se que “a radiação absorvida por uma amostra é determinada comparando-se a potência radiante do feixe transmitido na ausência de espécies absorventes com a potência radiante transmitida na presença destas espécies” (CUSTODIO; KUBOTA; ANDRADE, 2018, p.1).

A intensidade da radiação é dada pela razão entre a potência radiante e o ângulo sólido de incidência. Se este denominador apresenta valor muito baixo, podemos considerar a potência radiante como sendo a intensidade da radiação. Ao atravessar uma solução, parte da radiação é absorvida, logo a intensidade da luz inicial

( $I_0$ ) será sempre maior que a radiação transmitida ( $I_t$ ) (FELIX, 2022). Assim, de acordo com Custodio, Kubota e Andrade (2018) temos que a radiação absorvida não é simplesmente a diferença entre a radiação incidente e a radiação transmitida:

$$I_0 = I_r + I_e + I_a + I_t \quad \text{Equação (1)}$$

Onde,  $I_r$  é a intensidade da radiação refletida devido à diferença no índice de refração do meio e da solução,  $I_e$  é a intensidade do feixe espalhado devido a um meio não homogêneo composto por partículas na solução,  $I_a$  é a radiação absorvida pela solução (FELIX, 2022).

Para minimizar a intensidade da radiação refletida ( $I_r$ ), calibramos o equipamento preparando duas cubetas, uma contendo a substância de análise (Solução 1) e outra com todos os componentes, exceto a substância de interesse (Solução 2, também chama de “branco”), para obtenção do espectro de ruído de fundo. Através deste procedimento é possível obter um parâmetro, onde subtraindo-se da transmitância da solução 1 a transmitância da solução 2, obtém-se a transmitância do composto desejado.

A intensidade da radiação espalhada ( $I_e$ ) é considerada desprezível na maioria dos métodos de análise espectrofotométricos, já que em geral, utilizam-se de soluções homogêneas e transparentes (CUSTODIO; KUBOTA; ANDRADE, 2018). Podemos sintetizar, portanto, a equação da intensidade da luz inicial com a aproximação:

$$I_0 = I_a + I_t \quad \text{Equação (2)}$$

Desta forma, é possível medir as intensidades do feixe inicial ( $I_0$ ) e do feixe transmitido ( $I_t$ ) e, através destes dados, calcular a intensidade da radiação absorvida.

Em estudos individuais, Pierre Bouguer (1698-1758), estudava a as



propriedades de absorvência da luz e publicou sua obra relacionada ao assunto em 1729. Em 1760, Johann Heindrich Lambert (1728-1777) também se aprofundou nessa área e a combinação destes dois estudos estruturam matematicamente os fenômenos observados de forma empírica. Segundo Custodio, Kubota e Andrade (2018, p.3), duas leis fundamentais podem ser enunciadas:

A intensidade de luz (monocromática) transmitida por um corpo homogêneo é proporcional à intensidade de luz incidente. Isto é:  $I_t = k I_o$ . A intensidade de luz (monocromática) transmitida decresce exponencialmente com o aumento da espessura da camada do corpo homogêneo.

A magnitude da atenuação da radiação incidente é, portanto, função da concentração dos centros absorventes e da extensão do caminho óptico (FELIX, 2022). Desta forma, a lei de Bourguer-Lambert pode ser expressa matematicamente como:

$$I_t = I_o e^{-k \cdot b} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde  $k$  é o coeficiente de absorção,  $e$  é a base dos logaritmos neperianos e  $b$  é o caminho óptico da cubeta, em cm. Se convertermos  $e^{k \cdot b}$  em  $10^a$ , onde  $a$  é a absorvência, teremos:

$$I_t = I_o 10^{-ab} \quad \text{Equação (4)}$$

De acordo com Mendes e Benfato (2010), no século seguinte, August Beer (1825-1863) dedicou-se ao estudo das propriedades de absorção e transmissão da luz de acordo com a concentração das soluções, chegando à conclusão de que a absorvência ( $a$ ) de uma solução dependerá do caminho óptico ( $b$ ) e será tanto maior quanto for a sua concentração ( $c$ ), o que originou a expressão matemática conhecida como Lei de Beer:

$$I_t = I_o 10^{-acb} \quad \text{Equação (5)}$$

A absorvência depende também do comprimento de onda da radiação incidente, da natureza do cromóforo e do solvente, além da temperatura. Um valor significativo para a absorvência indica grande capacidade de um cromóforo absorver radiação naquele comprimento de onda específico (OLIVEIRA, 2015).

A radiação monocromática é a mais indicada em análises espectrofotométricas por ser proporcional à sensibilidade do método, já que a absorvência molar depende do comprimento de onda, além da substância, da temperatura e do solvente. Para definir o comprimento de onda ideal, é necessário variar a radiação incidente até obtê-lo para o resultado de maior absorção (CUSTÓDIO, KUBOTA E ANDRADE, 2018).

A razão entre a intensidade da radiação transmitida e da radiação inicial  $I_t/I_o$  é chamada transmitância ( $T$ ) e a relação  $\log_{10} (I_o/I_t)$  ou  $\log (1/T)$  é chamada a absorvência ( $A$ ). A transmitância pode ser obtida através da Equação:

$$T = \frac{I_t}{I_o} = 10^{-\epsilon cb} \quad \text{Equação (6)}$$

Esta demonstração matemática indica claramente que a transmitância de uma solução sobre a qual incide uma radiação monocromática diminui exponencialmente com o aumento da concentração e da espessura da solução. Para alcançarmos a linearidade na comparação entre transmitância e concentração, podemos aplicar o logaritmo em ambos os lados da equação (GONÇALVES et. al., 2017):

$$\log T = \log_{10} 10^{-\epsilon cb} \therefore \\ -\log_{10} T = \epsilon cb = A$$

Equação (7)

Já a absorvência ( $A$ ), pode ser obtida através da manipulação das mesmas equações que nos fornecem a transmitância, já que é proporcional ao caminho percorrido

pelo feixe de luz (b), à concentração (c) e a absorvidade (a) ou  $\epsilon$ , no caso da absorvidade molar (PIASSALONGA, 2022; FELIX, 2022;).

$$I_t = I_0 \cdot 10^{-\epsilon cb} \therefore 10^{\epsilon cb} = \frac{I_0}{I_t}$$

Equação (8)

Igualmente, para a preservação da linearidade com a concentração, utilizamos a função logaritmo (GONÇALVES et.al., 2017; PIASSALONGA, 2022):

$$\log_{10} \frac{I_0}{I_t} = \log_{10} 10^{\epsilon cb} \therefore A = \epsilon cb$$

Equação (9)

A absorvância (A) também pode ser escrita em termos de logaritmos na base 10, e como  $I_0$  corresponde a 100% da energia que incide sobre a solução, conclui-se que:

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I_t} \therefore A = \log_{10} I_0 - \log I_t \therefore A = \log_{10} 100 - \log I_t \therefore A = 2 - \log I_t$$

Equação (10)

Para uma solução que não absorve radiação eletromagnética, os valores de  $I_0$  e  $I_t$  serão os mesmos, consequentemente resultando em  $A = \log_{10} I$ , indicando absorvância nula, com transmitância com valor igual a 1, ou seja, 100%. Se alguma parcela de energia é absorvida,  $I_t < I_0$ , resultando em transmitância (T) com valor menor que 1, ou seja,  $T < 100\%$ . De acordo com Gonçalves et. al. (2017), a transmitância é usualmente representada em termos percentuais:

$$\%T = \frac{I_t}{I_0} 100$$

Equação (11)

A relação linear obtida entre absorvância (ou transmitância) e concentração permite a quantificação do analito através de uma curva analítica, se mantido o caminho óptico constante. Através da lei hoje conhecida como Lambert – Beer é possível a construção de uma curva analítica (curva de calibração

externa), onde determinada faixa de concentração apresenta-se relacionada linearmente com a absorvância.

Mendes e Benfato (2010) ressaltam que as leis de Lambert-Beer apresentam restrições que as limitam a apenas alguns tipos de análises colorimétricas, dentre elas a necessidade da utilização de luz aproximadamente monocromática e a da diluição das soluções, já que, para soluções concentradas, além de uma possível variação no índice de refração, existe um limite de linearidade, um ponto a partir do qual a lei de Lambert-Beer deixa de ser válida.

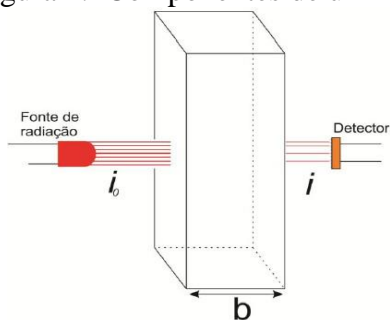
### 2.3 ANÁLISES FOTOMÉTRICAS

Segundo Oliveira (2023), para a realização de uma análise fotométrica, é necessária uma fonte de radiação com emissão na faixa espectral do UV- VIS. Embora a região do visível esteja entre 400 e 800 nm no espectro eletromagnético, é possível ainda utilizar a faixa entre 200 e 400 nm nos casos em que se tenha por objetivo a excitação molecular de analitos no estado gasoso ou em solução. É indicada a escolha do comprimento de onda no qual a absorvância seja mais significativa, pois desta forma se obtém maior grau de sensibilidade (MENDES & BENFATO, 2010).

Apesar disto, existem situações onde trabalha-se com comprimento de onda diferente daquele no qual se obtém maior absorção, como em casos de interferência

Um fotômetro é constituído pelos componentes: fonte de radiação, um monocromador ou seletor de comprimento de onda que possibilite a escolha do comprimento de onda adequado, um compartimento para a cubeta e um detector da radiação atenuada pela amostra.

Figura 2: Componentes de um fotômetro



Fonte: REIS (2014, p. 18)

A seleção dos comprimentos de onda pode ser realizada através da utilização de um filtro de interferência que isole o comprimento de onda requerido. Como fontes de emissão são comumente utilizadas lâmpadas LED (diodo emissor de luz), enquanto o compartimento para a cubeta pode ser construído com diversos materiais de baixo custo (NEIVA, 2020; PIASSALONGA, 2021; AVILA et. al., 2021). A detecção da radiação atenuada pela solução da amostra pode ser realizada através de um LDR (Resistor dependente de luz, do inglês, *Light Dependent Resistor*), cujos valores podem ser visualizados através de um multímetro. Os dados de resistência obtidos em cada análise podem ser convertidos em absorvância através de cálculos simples (AVILA et. al., 2021; GALLOTTE et.al., 2022).

Os comprimentos de onda emitidos estão relacionados com a natureza do semicondutor e com a natureza do material de dopagem. Atualmente, LEDs são encontrados em variadas cores e modelos a preços acessíveis. A utilização de LED como fonte de radiação em fotômetros e outros equipamentos de análise óptica mostra-se eficaz pela portabilidade, pela eficiência, pela economia, pela durabilidade e pelo rendimento.

O LDR é um componente eletrônico tem sua resistência alterada conforme ocorre a variação da intensidade da energia luminosa incidente. Construído a partir de semicondutores com alta resistência, apresenta menor resistência quando exposto a maior intensidade da luminosidade

(PIASSALONGA, 2022; GALLOTTE et.al., 2022 GALLOTTE et.al., 2022). Seu funcionamento baseia-se no fato de que, sob incidência de luz em frequência adequada, seus elétrons são ejetados para a banda condutora, diminuindo a resistência e aumentando a sua condutividade (GALLOTTE et.al., 2022).

Um multímetro tem como parte integrante um ohmímetro, através do qual mede-se a oposição à corrente elétrica (resistência) e voltímetros, para medida de corrente contínua e alternada e amperímetro, para medida de corrente elétrica. A relação entre resistência ( $R$ ), tensão ( $U$ ) e corrente ( $i$ ) é dada pela Lei de Ohm:

$$U = Ri \quad \text{Equação (12)}$$

Observa-se que o deslocamento de elétrons da camada de valência para a camada de condução disponibiliza mais elétrons para a condutância, resultando consequentemente na redução da resistência. Desta forma, na ausência de luz, o multímetro emite uma resposta com altíssima resistência e na presença de luz, com resistência menor e consequentemente, maior condutância. Esta proporcionalidade inversa entre corrente e resistência é facilmente observada através da Lei de Ohm. A utilização da função ohmímetro através do multímetro permite a quantificação da resistência do LDR quando sobre ele incide a radiação atenuada (GALLOTTE et.al., 2022).

De acordo com Reis (2014), como a condutância ( $G$ ) é dada pela equação inversa da resistência ( $G = \frac{1}{R}$ ). Considerando que o branco é dado pela transmitância máxima (menor resistência), temos que:

$$A = -\log \frac{T}{T_0} = -\log \frac{G_{\text{amostra}}}{G_{\text{branco}}} \quad \text{Equação (13)}$$

Logo, uma montagem experimental que possibilite a obtenção das medidas de resistência da incidência da radiação incidente e atenuada pela solução contendo o analito é adequada, ressaltando-se as interferências, para a análise fotométrica e fluorimétrica.

Pochivalov et. al. (2017) propõem métodos de determinação da concentração de diclofenaco em amostras de medicamento baseadas em sua reação com ferricianeto de potássio em meios de hidróxido de sódio. A reação é possível porque, segundo Pochivalov et. al. (2017, p.160), “o hidróxido de sódio promove a reação de oxidação do diclofenaco, melhorando as propriedades oxidantes do ferricianeto de potássio e estabiliza adicionalmente o produto colorido de acordo com o mecanismo de reação”. A reação, visualizada através da alteração da cor da solução de incolor para alaranjado é propícia para quantificação por análises fotométricas, visto que a formação do produto ocasiona a absorvância/transmitância a serem detectadas pelo fotômetro.

García et. al. (1998) destacam ainda que a curva de calibração do complexo formado é linear na faixa de concentração de 0,2- 20 mg, sendo o limite de detecção  $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ . O produto da reação apresenta absorvância máxima em 453 nm e decompõe-se com o passar do tempo (POCHIVALOV et. al., 2017).

#### 2.4 ANÁLISES FLUORIMÉTRICAS

O fenômeno da luminescência ocorre através da excitação molecular, possibilitando análises quantitativas e qualitativas. Enquanto na quimiluminescência, os dados são geralmente obtidos através de uma reação química entre o analito e um reagente específico para a obtenção de uma espécie excitada, na fotoluminescência (fluorescência e fosforescência), os fótons que excitam a molécula são provenientes de

uma fonte externa de radiação (OLIVEIRA, G. B., 2023).

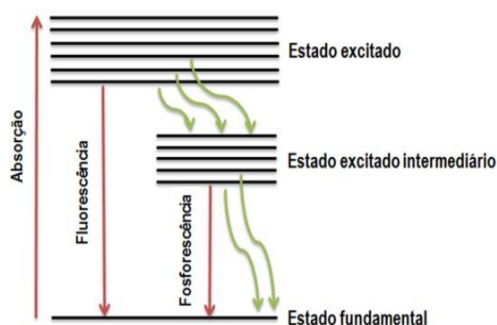
A diferença fundamental entre fluorescência e fosforescência está relacionada ao tempo de emissão após a excitação molecular, fator que se vincula diretamente à perda energética nas transições eletrônicas: enquanto na primeira a emissão cessa-se logo após a interrupção do fornecimento de radiação externa (cerca de  $10^{-5}$  segundos), na segunda fótons são emitidos por um período de tempo muito maior ( $10^{-4}$  s a 10 s ou mais). Tal fenômeno é explicado pelo fato de que na fluorescência não ocorre mudança de spin eletrônico: ocorre apenas o relaxamento vibracional que não ocasiona spins desemparelhados. Esta transição de spins é conhecida como singlete-singlete e refere-se a elétrons emparelhados e sem separações nos níveis de energia. Já na fosforescência, ocorre a alteração nos spins e desemparelhamento eletrônico, alcançando um estado de baixa energia e maior estabilidade (transição singlete-triplete) ocasionando, portanto, uma emissão de radiação mais duradoura. (NEIVA, 2020; PIASSALONGA, 2022).

Neiva (2020) ressalta que a excitação eletrônica em métodos fotoluminescentes geralmente se dá através de comprimentos de ondas menores (mais energéticos) que aqueles que serão emitidos. Normalmente a luz ultravioleta é absorvida pelas espécies, que emitem radiação em comprimentos de ondas maiores (menos energéticos) na região do espectro visível.

Na fluorescência molecular (Figura 2), a instabilidade dos elétrons excitados resulta no decaimento em aproximadamente um bilionésimo de segundo, com a emissão de fótons com comprimento de onda maior e conseqüentemente menor energia que o fóton absorvido no processo de excitação (AMAYA, 2022; NEIVA, 2020).



Figura 3: Processos de absorção, fluorescência e fosforescência



Fonte: <http://www.ufjf.br/quimica/files/2015/06/2018-QUI126-AULA-5> Acesso 7 set., 2023.

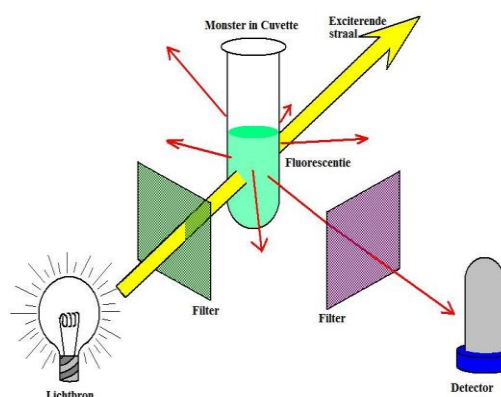
Em outras palavras, a fluorescência ocorre quando moléculas são excitadas com fótons de frequências apropriadas e, conforme colidem-se com outras moléculas perdem energia vibracional, retornando a um nível instável de menor de excitação. Para alcançar a estabilidade, voltam deste ponto a um nível fundamental emitindo energia fluorescente. Desta forma, como o fóton de fluorescência é menos energético que o fóton de excitação, é possível distinguir para cada espécie que fluoresce o seu comprimento de onda de excitação e seu comprimento de onda de emissão característicos. (OLIVEIRA et al., 2015; PAVONI et al., 2014; AMAYA, 2022).

Embora a predição sobre a fluorescência de uma molécula seja difícil, observa-se que algumas características são comuns em estruturas de substâncias que apresentam tal fenômeno. A maioria destes compostos são aromáticos, com transição eletrônica  $\pi \rightarrow \pi^*$  de baixa energia. Existem também compostos com estruturas alifáticas que fluorescem, fato que se deve à alta energia para as transições  $\sigma \rightarrow \sigma^*$  e à rigidez da estrutura que reduz a liberdade vibracional molecular (PIASSALONGA, 2022).

Uma diferença fundamental entre um fluorímetro e um fotômetro convencional encontra-se na angulação entre a detecção da luz e a fonte. Em análises de fluorescência, este ângulo deve ser de  $90^\circ$ , geometria que favorece a

detecção minimizando a interferência proveniente da transmitância. Na análise da fluorescência a radiação de interesse é aquela originada pelo brilho do analito em solução (Figura 3), que irradia em todas as direções a partir da amostra (PIASSALONGA, 2022).

Figura 4: Geometria entre fonte de radiação e detector em um fluorímetro



Fonte: Banco de imagens da Internet- Domínio Público

Reis (2014) destaca que para fins quantitativos, a concentração de um analito fluorescente é relacionado apenas à intensidade de emissão de radiação após a excitação, processo denominado relaxamento.

Oliveira et al. (2015) nos mostram que a intensidade da fluorescência molecular ( $I_f$ ) é proporcional à intensidade de energia absorvida ( $I_0 - I_t$ ):

$$I_f = K (I_0 - I_t) \therefore I_f = K I_0 \left(1 - \frac{I_t}{I_0}\right) \quad \text{Equação (14)}$$

Onde K é uma constante relacionada ao meio e ao rendimento quântico. O rendimento quântico nada mais é que a razão entre os fótons de excitação e de emissão. A intensidade da fluorescência se relaciona exponencialmente com a concentração do analito (c) e com sua absorvidade ( $\epsilon$ ):

$$\frac{I_t}{I_0} = 10^{-\epsilon cb} \quad \text{Equação (15)}$$

Substituindo os termos da Equação 14 na Equação 15, temos que:

$$I_f = K I_0 (1 - 10^{-\epsilon cb})$$

Equação (16)

Observa-se, portanto, que em soluções muito concentradas e com alta absortividade molar, deverá ocorrer absorção de praticamente toda a radiação incidente na parte mais externa da solução, aproximando-se de um valor constante dado por  $I_f = K I_0$ . Por este motivo, a análise de fluorescência mostra maior eficácia em soluções diluídas (REIS, 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

Análises de fluorescência são viáveis devido à sua importância para inúmeras áreas do conhecimento e sobretudo pela alta sensibilidade intrínseca do fenômeno, a nível de traços, que permite a detecção e estudo do analito ainda que se encontre nas soluções em baixas concentrações (ARAÚJO, 2019).

A fluorescência é uma ferramenta extremamente importante para investigação em inúmeras áreas, como em processos fotossintéticos, sequenciamento de DNA, estruturas celulares e expressão gênica, além da identificação, separação, purificação e quantificação de diversos compostos (AMAYA, 2022).

Através do equipamento construído, mensurou-se através da fluorimetria, a concentração de quinina em água tônica. O meio ácido favorece a fluorescência da quinina (URBANO et. al., 2022) porque favorece a sua protonação, estabilizando-a, e geralmente é obtido através da adição de ácido sulfúrico. Oliveira et al. (2015) ressaltam que é interessante a utilização de radiação incidente com pico máximo na faixa de 400 nm (350-450 nm), embora para alguns casos onde se necessite de maior energia menores comprimentos de onda, seja indispensável a troca da fonte.

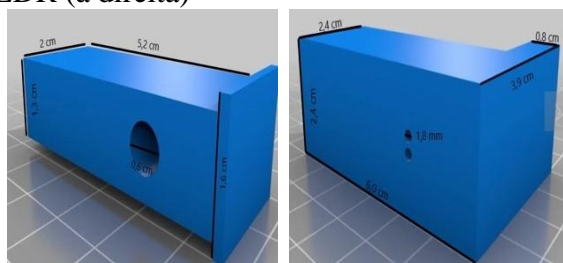
A absorção de radiação pelo quinina em 250 nm ou 350 nm resultam na mesma emissão a 450 nm, fato que se deve ao processo de desativação por conversão interna (URBANO et.al., 2022).

### 3 PROCESSOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO

O equipamento foi construído a partir do modelo disponível no site *Thingiverse*<sup>1</sup>. O modelo em questão é composto por dois elementos principais: um compartimento para cubeta, no qual é inserido o LDR e um anteparo que tem por função vedar a entrada de luminosidade no primeiro (Figura 5). Nele, é inserido o LED, cuja radiação atenuada pela solução será detectada pelo fotorresistor, fixado a 180°, possibilitando as análises fotométricas.

Figura 5: Componentes e medidas do equipamento: suporte vedador para instalação do LED (à esquerda); e suporte para cubeta com orifícios para inserção do LDR (à direita)

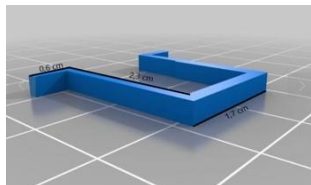


Fonte: Adaptado de Thingiverse ([thing:2760937](https://www.thingiverse.com/thing:2760937)) Acesso 07set, 2023.

O equipamento conta ainda com um gancho removível que se encaixa no compartimento da cubeta, o que descarta a necessidade de colocar o equipamento na horizontal para sua remoção.

<sup>1</sup> Disponível em <https://www.thingiverse.com/thing:2760937> Acesso em 02 set 2023.

Figura 6: Gancho auxiliar para manuseio da cubeta



Fonte: Adaptado de Thingiverse ( [thing:2760937](https://www.thingiverse.com/thing:2760937))  
Acesso 07 set., 2023.

Para ampliação da gama de análises possíveis através do equipamento, adicionou-se um novo encaixe, com dois orifícios para inserção de outro LDR a 90° do feixe de luz. Tal modificação foi realizada através do site *Tinkercad*<sup>2</sup>. Desta forma, o aparelho teve sua função ampliada (Figura 7), podendo ser utilizado como fotômetro ou como fluorímetro, de acordo com a posição do LDR no qual é realizada a medida de resistência através de um multímetro.

Figura 7: Modelo de suporte para cubeta e adaptação necessária



Fonte: *Thingiverse*

A impressão do modelo deu-se através de uma impressora 3D *Crealty Ender 3 Pró*, utilizando-se do programa fatiador *Ultimaker Cura 4.5*. Atualmente muitos estabelecimentos realizam trabalhos envolvendo impressão 3D a um custo acessível, mas cabe ressaltar que o modelo também pode ser facilmente replicado utilizando a madeira, materiais recicláveis, entre outros, em substituição ao ácido polilático (filamento PLA).

Como fonte de radiação foi utilizado um LED roxo/UV alto brilho 3,2V de 5 mm

com emissão na faixa espectral 395-400 nm, corrente 20mA e potência 0,05 W. Cabe salientar que, para medidas de fluorescência, o LED em questão geralmente se mostra eficaz, embora para a função fotométrica é possível que seja necessária a troca do mesmo de acordo com o comprimento de onda adequado para cada análise, ou seja, naquele onde a solução com o analito apresente maior (ou significativa) absorvância.

Utilizou-se uma fonte de alimentação de corrente e tensão contínuas, com saída de respectivamente 1A e 5V, provenientes de um carregador de smartphone. Uma das extremidades do cabo foi ligada diretamente ao LED. Dada a diferença entre a tensão da fonte de radiação e da fonte de alimentação, tornou-se necessária a adição de um resistor de 100  $\Omega$  ligado em série no circuito.

A extremidade USB, com adaptador removível, garantiu a portabilidade do equipamento, ao apresentar a possibilidade de ser conectada à rede elétrica, a um notebook ou a uma bateria externa. Nestes dois últimos, a corrente pode ser reduzida para a metade (0,5A), o que não interfere no correto funcionamento do LED (0,02A).

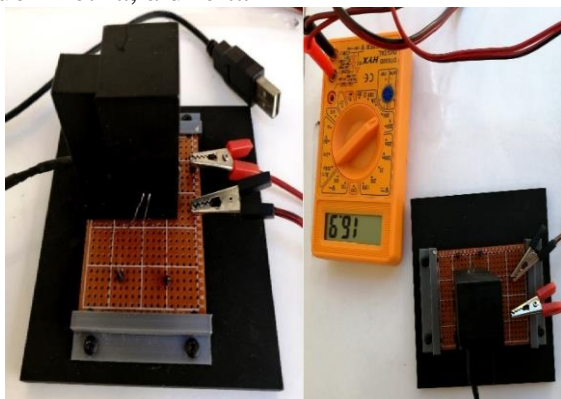
Inseriu-se um LDR 5mm como célula fotossensível para detecção da radiação atenuada na posição de 90° ao feixe de radiação para as análises fluorimétricas e outro a 180° para análises fotométricas. A leitura dos dados quantitativos de resistência foi realizada através de um multímetro digital e posteriormente convertida em condutância e absorvância.

Toda a estrutura do equipamento foi revestida com tinta spray multiuso de cor preta fosca. Para aumentar a estabilidade da cubeta no interior do compartimento, utilizou-se uma placa de fenolite perfurada 5 x 7 cm à qual foi acoplado o equipamento construído e pela qual foram inseridos os

<sup>2</sup> Disponível em <https://www.tinkercad.com/>  
Acesso 03 set., 2023.

terminais do LDR e do LED. A Figura 8 mostra a estrutura final do equipamento:

Figura 8: Estrutura Final do Equipamento: Função fotometria, à esquerda; Função fluorimetria, à direita



Ao fim deste processo, utilizou-se uma placa de MDF preta para afixação de todo o conjunto, com o intuito de reduzir possíveis interferências e dificuldades de manuseio advindas do movimento e oscilação do mesmo.

### 3.2 ANÁLISES FOTOMÉTRICAS E FOTOMETRICAS NO EQUIPAMENTO CONSTRUÍDO

As soluções foram preparadas com água ultrapura (resistividade > 18,0 MΩ cm) obtida de um sistema Millipore Milli-Q (EUA). Todos os reagentes utilizados neste trabalho foram de grau analítico e todas as soluções foram preparadas a partir da diluição em água ultrapura.

#### 3.2.1. Soluções e amostras utilizadas na Análise Fluorimétrica

A solução estoque de cloreto de quinino padrão 45 ppm (m/v) foi preparada dissolvendo-se massa adequada deste sal em água ultrapura, em meio de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> e diluição até o volume de 100 mL. As demais soluções de cloreto de quinino padrão foram preparadas por meio de diluições adequadas com água ultrapura em meio de ácido sulfúrico 1 mol L<sup>-1</sup>.

Para a determinação da concentração de quinino em água tônica, adquiriu-se uma amostra de água tônica da marca Antartica® em supermercado da cidade de Viçosa-MG, através da qual foram preparadas alíquotas transferindo-se 5 mL da mesma para um balões volumétricos de 10 mL, adicionando-se em seguida 1 mL da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> e água até completar o volume, obtendo-se assim, soluções com metade da concentração original.

#### 3.2.2 Soluções e amostras utilizadas na Análise Fotométrica

Com a finalidade de realizar um estudo para averiguar as concentrações ideais dos reagentes, fixou-se a concentração de NaOH em 0,1 mol L<sup>-1</sup> em quatro soluções de diclofenaco 20 mg L<sup>-1</sup> e variou-se a concentração de K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] entre 0,01- 0,2 mol L<sup>-1</sup>. Repetiu-se o procedimento através da fixação da concentração de K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] em 0,1 mol L<sup>-1</sup> e variação da concentração de NaOH entre 0,01 - 1,5 mol L<sup>-1</sup>.

A solução estoque de diclofenaco de sódio padrão 100 mg L<sup>-1</sup> foi preparada a partir da dissolução da massa adequada do princípio ativo em água, em meio de NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] 0,1 mol L<sup>-1</sup>. As demais soluções de diclofenaco padrão foram preparadas a partir da diluição de volumes adequados da solução estoque em água.

Para a determinação da concentração de diclofenaco em medicamentos, amostras de Belfaren® e Sodix®, ambos rotulados com concentração de 50 mg de diclofenaco por comprimido, foram adquiridas em farmácias local.

As soluções dos medicamentos nas análises foram preparadas a partir da trituração de um comprimido de cada marca, solubilização em água, filtração, transferência para balão volumétrico de 500 mL, adição de massa adequada de NaOH e



$K_3[Fe(CN)_6]$  para obtenção das concentrações de  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , respectivamente. Em seguida, realizou-se a filtração para remoção de concomitantes insolúveis em água indicados na bula dos medicamentos e o acerto do volume do solvente, obtendo-se a solução de cada medicamento com concentração teórica de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de diclofenaco. As demais amostras com os medicamentos foram preparadas a partir da diluição de volumes adequados da solução estoque.

### 3.2.3 Determinação da concentração de quinina em água tônica

A curva de calibração foi construída através das análises de soluções de quinino no intervalo de concentração entre 0 – 45 ppm. Para tal, realizou-se a medida de resistência, em triplicata, e posteriormente realizou-se a conversão dos valores obtidos em condutância, cujos resultados teóricos deveriam demonstrar proporcionalidade em relação à fluorescência emitida pelas alíquotas analisadas.

A análise das amostras de água tônica foi realizada de forma análoga, os resultados obtidos para condutância foram tabelados e através deles realizou-se a conversão dos valores obtidos em concentração de quinino, por meio da equação da reta ajustada na curva de calibração.

### 3.2.4 Determinação da concentração de diclofenaco em medicamentos

Realizou-se inicialmente um estudo para verificação das concentrações ideais de NaOH e  $K_3[Fe(CN)_6]$  para obtenção da complexação efetiva de diclofenaco de sódio, conforme descrito no item 5.3.3, através do qual buscou-se a realização dos ajustes para a obtenção de maior resistência (ou maior absorvância).

Desta forma, foi possível realizar a reação química entre diclofenaco na faixa de concentração  $0\text{-}20 \text{ mg. L}^{-1}$  e NaOH e

$K_3[Fe(CN)_6]$  nas concentrações de mais indicadas. As medidas foram realizadas em triplicata e os valores de resistência convertidos em condutância e absorvância, com posterior construção da curva de calibração. Os testes com as amostras foram realizados em triplicata, em duas diferentes concentrações para cada medicamento. Os resultados foram convertidos em absorvância e através da equação da reta fornecida pela curva de calibração ajustada, calculou-se a concentração de diclofenaco nos medicamentos analisados.

### 3.2.5 Validação dos resultados

A validação da função fluorimétrica foi realizada por Método Comparativo: os espectros de emissão de fluorescência foram registados por um espectrofotômetro de fluorescência Avaspec-HS2048XL (Avantes, Holanda). Uma cubeta de quatro faces polidas com caminho óptico de 1cm foi utilizada para a realização das medições.

A validação do método fotométrico foi realizada através do ensaio de recuperação, que consiste na mistura de duas soluções com concentrações conhecidas, sendo uma delas a solução padrão utilizada para a construção da curva de calibração e a outra, a amostra de análise para a qual se busca uma resposta quantitativa. Os cálculos teóricos indicam a concentração esperada após processo, enquanto a análise através do método em questão apresenta a concentração obtida.

O ensaio de recuperação foi realizado através da mistura de diferentes volumes da solução padrão de diclofenaco e da solução do medicamentos, a saber: volumes de 1 mL, 2,5 mL e 25 mL da solução padrão de diclofenaco a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  adicionados, respectivamente, a 200 mL, 50 mL e 50 mL das soluções de Belfaren® e Sodix® a  $5 \text{ mg L}^{-1}$ .

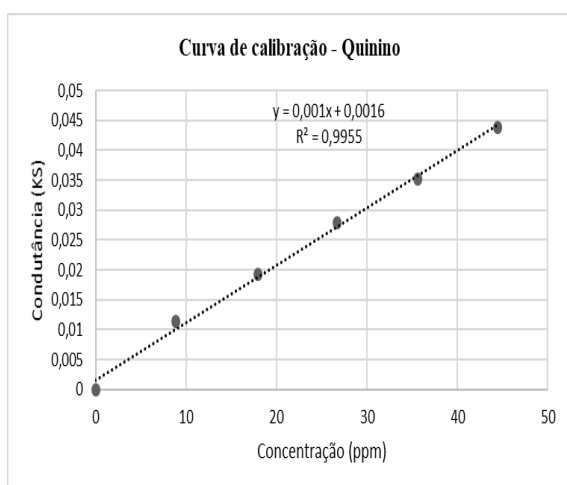


## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação e validação da concentração de quinina em água tônica através do equipamento proposto

Através do equipamento construído, a resistência referente a cada solução foi mensurada em triplicata e convertida em condutância ( $G = \frac{1}{R}$ ), cujos valores são proporcionais à luminosidade detectada e podem ser utilizados como sinais de fluorescência. Para as medidas de fluorescência, optou-se por utilizar os valores de condutância devido à proporcionalidade linear com relação à fluorescência. Para obtenção da curva analítica, o valor de condutância mensurado para o branco foi subtraído dos demais resultados.

A faixa linear para a concentração de cloreto de quinino foi observada no intervalo entre 0 e 45 ppm (0 a 0,138 mol L<sup>-1</sup>), sendo representada pela equação  $y = 0,001x + 0,016$ , com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9955, onde  $y$  representa a medida de condutância, em kS e  $x$ , a concentração do analito em ppm:



A repetibilidade do procedimento foi determinada para concentrações de soluções de referência de cloreto de quinino de 5 e 40 ppm, obtendo-se desvios padrões

relativos de 0,8 e 3,1%, respectivamente. Para a análise quantitativa do quinino em água tônica, as soluções acidificadas e diluídas à metade da concentração original foram submetidas à análise e os resultados estão apresentados no Quadro 1.

Resistência obtida (kΩ)	23,8 ± 0,8
Condutância obtida (kS)	0,04 ± 0,02
Concentração Alíquota diluída (ppm)	22,8 ± 1,4
Concentração método proposto (ppm)	45,6 ± 2,8
Concentração método validação (ppm)	46,5 ± 1,2
RSD%*	1,8

\* Erro relativo entre método proposto e método comparativo

A análise em triplicata, apontou uma concentração média da água tônica em 45,65 ppm de quinino. Observou-se que a variação da luminosidade externa apresentou uma pequena influência nas medidas de resistência.

A validação dos resultados obtidos foi realizada através do método comparativo empregando-se um espectrofotômetro de fluorescência. Os resultados obtidos, provenientes das medições em triplicata, indicaram a concentração média de 46,50 ppm de quinino na água tônica. Desta forma, o valor obtido através da análise realizada no equipamento construído corresponde a 98,17% do resultado das medições em equipamento comercial.

4.2 Determinação e validação da concentração diclofenaco em medicamentos através do equipamento proposto

A curva de calibração para a determinação da concentração de diclofenaco em medicamentos foi obtida a partir da oxidação do diclofenaco de sódio padrão por ferricianeto de potássio em meio

alcalino. As análises foram realizadas em triplicata (RSD 1,9%).

A determinação da concentração ideal de NaOH e  $K_3[Fe(CN)_6]$  deu-se através da fixação das concentrações do analito e de uma das variáveis (Quadro 2).

NaOH (mol L <sup>-1</sup> )	$K_3[Fe(CN)_6]$ (mol L <sup>-1</sup> )	Resistência (K $\Omega$ )	Absorbância
0,1	0,01	2,78	0,22
	0,05	3,19	0,28
	0,1	3,57	0,32
	0,2	3,57	0,32
0,01	0,1	3,18	0,27
0,5		3,32	0,29
1		3,71	0,34
1,5		3,62	0,33

Os valores que resultaram em maior resistência foram condizentes com a literatura (GARCÍA et. al., 1998; POCHIVALOV et. al., 2017), estabelecendo-se, portanto, em NaOH 1 mol L<sup>-1</sup> e  $K_3[Fe(CN)_6]$  0,1 mol L<sup>-1</sup>.

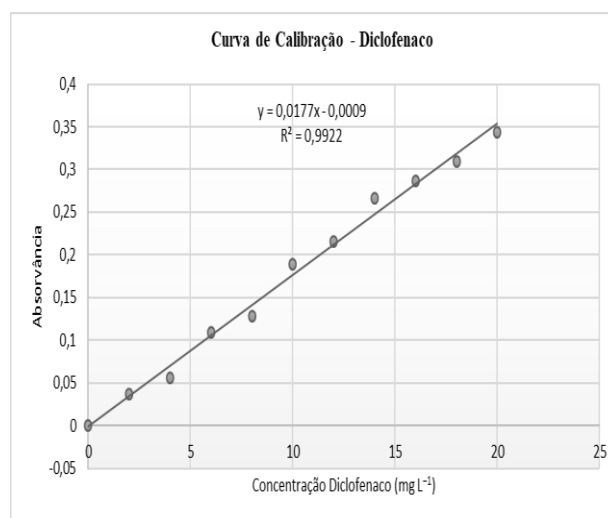
Empregando-se as concentrações supracitadas, obteve-se maior resistência, o que indica menor condutância, traduzindo-se em maior complexação e consequentemente maior absorbância.

Para a determinação da concentração de diclofenaco em medicamentos, foram utilizadas as concentrações de NaOH e  $K_3[Fe(CN)_6]$  previamente calculadas com vistas à maior complexação do princípio ativo em questão.

A análise consistiu na mensuração da resistência associada a cada solução, em triplicata, com posterior conversão dos resultados em condutância e na obtenção dos valores de absorbância.

A curva analítica obtida apresenta faixa linear no intervalo de concentração de diclofenaco no intervalo entre 0 e 25 mg L<sup>-1</sup> (0 a  $8,45 \times 10^{-5}$  mol L<sup>-1</sup>) e pode ser descrita pela equação  $y = 0,0177x + 0,0009$ , com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de

0,9922, onde y representa a absorbância e x, a concentração do analito em mg L<sup>-1</sup>:



A repetibilidade do procedimento foi determinada para concentrações de soluções de referência de diclofenaco de 5 e 15 mg, obtendo-se desvios padrões relativos de 0,6 e 2,8%, respectivamente.

Os testes foram realizados em dois medicamentos comerciais que têm como princípio ativo o diclofenaco: Belfaren® e Sodix®.

Amostras com diferentes concentrações foram preparadas por diluição e submetidas à análise em triplicata através do equipamento.

Através da mensuração da resistência, conversão em condutância ( $G = \frac{1}{R}$ ) e cálculo da absorbância, através da equação  $A = -\log \frac{G_{amostra}}{G_{branco}}$ . Utilizou-se a equação da reta da curva de calibração ajustada para a obtenção da concentração das soluções.

Os resultados obtidos para diferentes concentrações foram multiplicados pelos fatores de diluição de forma a se obter os valores teóricos para a concentração de um comprimido.

Os valores obtidos são apresentados a seguir:

Quadro 3: Concentração de diclofenaco em medicamentos:		
Amostras	Belfaren®	Sodix®
Rótulo (mg/comp.)	50	50
Concentração teórica (mg/comp.)	10	10
Concentração da alíquota (mg/comp.)	10,16 ± 0,51	10,86 ± 2,67
Concentração obtida (mg/comp.)	50,8 ± 2,6	54,3 ± 1,6
RSD % *	-1,6	-8,6

\* Erro relativo entre método proposto e concentração rotulada

Para validação dos resultados encontrados para as concentrações de Belfaren® e Sodix®, realizou-se o ensaio por adição e recuperação.

Para validação dos resultados obtidos para a concentração de diclofenaco em medicamentos, realizou-se o procedimento de preparo de soluções a partir da adição entre solução padrão de diclofenaco e solução de análise, em três etapas, visando estabelecer concentrações finais próximas às extremidades das curvas e calibração e em um ponto intermediário da mesma. As concentrações esperadas foram calculadas considerando a concentração da solução com o analito de acordo com as informações do rótulo do medicamento, ou seja, 50 mg por comprimido.

Após o cálculo das concentrações teóricas cada uma das misturas de solução padrão com soluções de Belfaren® foi submetida à análise no equipamento proposto, em triplicata, tendo a resistência a cada uma delas associada convertida em condutância.

A absorvância foi calculada e através dela, obteve-se a concentração por substituição das variáveis na curva de calibração:

Tabela 1 – Resultado do Ensaio por Adição e Recuperação - Belfaren®:

	Amostra I	Amostra II	Amostra III
Conc. teórica (mg L <sup>-1</sup> )	5,22	7,14	20
Absorvância	0,086 ± 0,001	0,121 ± 0,001	0,336 ± 0,001

Conc. obtida	4,96 ± 0,001	6,8 ± 0,3	19,0 ± 0,7
Recuperação (%)	95,2	96,3	95,1

Repetindo-se o procedimento com as amostras de Sodix®, em triplicata, obteve-se os resultados apresentados na tabela a seguir:

Tabela 2 – Resultado do Ensaio por Adição e Recuperação - Sodix®:

	Amostra I	Amostra II	Amostra III
Conc. teórica (mg L <sup>-1</sup> )	5,22	7,14	20
Absorvância	0,084 ± 0,001	0,120 ± 0,001	0,337 ± 0,001
Conc. obtida (mg L <sup>-1</sup> )	5,12 ± 0,001	6,7 ± 0,4	19,1 ± 0,5
Recuperação (%)	98,08	95,09	95,5

A média dos valores obtidos nos testes em triplicata através de soluções de Belfaren® e Sodix® indicam boa aproximação com os resultados esperados, visto que em ambos os ensaios de recuperação e adição obteve-se recuperação média acima de 95%.

#### 4.3 Custos médios pra a construção do equipamento

Para a impressão utilizou-se filamento PLA (ácido polilático), com o consumo aproximado de 21 gramas do material. O custo, nesta produção, foi equivalente a R\$3,00, visto que 1 Kg do material pode ser comprado em lojas especializadas por aproximadamente R\$150,00. Ressalta-se que alguns dos componentes utilizados foram reaproveitados, como o carregador de smartphone e a tinta multiuso.

Tabela 3: Preços de componentes utilizados para a construção do equipamento

Componente	Quantidade	Preço total(R\$)
Ácido polilático	21 gramas	3,00
LED 5mm 3,2V	1 unidade	2,50
Resistor 100 Ω	1 unidade	0,20
Carregador	1 unidade	30,00
LDR 5 mm	2 unidades	2,00
Fenolite 5x7cm	1 unidade	2,00
Multímetro	1 unidade	25,00

Placa MDF	1 unidade	1,00
Tinta spray	1 unidade	10,00
Custo total médio		75,70

O preço de um equipamento comercial novo varia entre R\$ 1000 entre R\$3000, valores inacessíveis para muitas escolas brasileiras. Desta forma, é possível concluir que o objetivo de construir um equipamento de baixo custo para a aplicação no ensino foi alcançado.

## 5 CONCLUSÕES

Diante dos incontáveis desafios presentes na educação pública brasileira atualmente, especificamente na área de ciências exatas, torna-se necessário inovar através de abordagens que permitam ao aluno o reconhecimento da correlação entre os conteúdos e a aplicação dos mesmos em seu cotidiano. Através de materiais de baixo custo é possível construir um equipamento que auxilie para um ensino e aprendizado amplo, reduzindo a distância e estabelecendo conexões entre tópicos relevantes de diversas áreas do conhecimento. O equipamento construído possibilita o aprofundamento dos conceitos e práticas relacionados ao modelo de Bohr e fenômenos de luminescência, absorvância e transmitância, abrindo espaço para abordagens com noções de Física Quântica e análises espectrofotométricas. O método apresentado tem como fundamento principal a conexão entre conteúdos já presentes no Ensino por meio da Física Clássica (resistência, condutância, circuitos simples) e assuntos que deveriam ser inseridos no currículo, mas não o são por falta de recursos ou receio por parte do docente quanto à complexidade dos mesmos.

Os resultados apresentados indicam que o equipamento pode ser construído com poucos recursos, mostrando eficácia relevante para o ensino. Adaptações podem ser realizadas para aperfeiçoamento da sua sensibilidade, como uma caixa protetora

que isole ao máximo a influência da luminosidade externa.

Ressalta-se que os experimentos podem e devem ser simplificados, de acordo com o público ao qual se destina (HOPPE, 2021). A transposição didática é a peça chave para o avanço gradativo do ensino de Ciências em geral. Uma simples diluição de um suco em pó ou concentrado ou ainda de bebidas de coloração/fluorescência detectável podem ser utilizadas para realizar a construção da curva de calibração e posteriormente serem aplicadas não só para a determinação da concentração do analito, mas também para apresentar a correlação entre os conceitos físicos, matemáticos e químicos neste trabalho abordados, de forma transdisciplinar.

## REFERÊNCIAS

- AMAYA V., ÁLVARO, A. et al. **Experimentos en el aula para la demostración de los fenómenos de fluorescencia, fosforescencia y quimioluminiscencia.** Educ. quím, Ciudad de México, v. 33, n. 4, p. 156-168, 2022.
- ARAÚJO, E.R. **Validação de método espectrofotométrico UV-VIS e espectrofluorimétrico para determinação de corante vermelho de origem biotecnológica associado a nanocarreadores.** Dissertação de Mestrado. Araraquara, 2019. <http://hdl.handle.net/11449/181060>.
- AVILA, C. et al. “Diseño de un espectrofotómetro UV-VIS de bajo costo para la industria bioquímica: Una Revisión”. **Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI**, vol. 9, nº Especial 2, dezembro de 2021, p. 19–28. [repository.uaeh.edu.mx, https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial2.7788](https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial2.7788).

**Nacional Comum Curricular.** Brasília, 2018.

**CONCEIÇÃO, Paulo da. Aprendizagem significativa do conceito de intensidade óptica utilizando o fotômetro de Bunsen.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2021.

CUSTODIO, R.; KUBOTA, L. T.; ANDRADE, J. C. Lei dos processos de absorção da radiação. **Revista Chemkeys**, [s.l.], n. 3, p.1-5, 17 set. 2018. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/chemkeys.v0i3.9615>.

FEITOSA, S. S, et al. “Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, vol. 37, nº 2, agosto de 2020, p. 662–94.

FELIX, I. S. **Desenvolvimento de procedimentos analíticos para a determinação de mercúrio em peixe baseado na extração empregando banho ultrassônico, geração de vapor frio e análise espectrofotométrica do complexo HgI<sub>4</sub><sup>-</sup>.** 2022. 75 f. Trabalho e Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

GALLOTTE, P. T., et al. “Como a espectrometria pode contribuir na eficiência energética e na saúde dos ocupantes de edificações com partes em vidro e/ou espelhadas”. **Desvendando a Engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade - Volume 3**, 1º ed, Editora Científica Digital, 2022, p. 84–100. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.37885/220107127>.

GARCÍA, M.S.; SOLEDAD; ALBERO,

M. ISABEL; SÁNCHEZ-PEDREÑO, CONCEPCIÓN; MOLINA, JOSÉ. Flow-injection spectrophotometric determination of diclofenac sodium in pharmaceuticals and urine samples. **Journal Of Pharmaceutical And Biomedical Analysis**, [s.l.], v. 17, n. 2, p.267-273, jun. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0731-7085\(97\)00195-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0731-7085(97)00195-7).

GONÇALVES, D. E. F. et. al. **Importância da calibração de espectrofotômetros UV-VIS nas análises químicas.** Visomes Comercial Metrológica LTDA. São Paulo: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), 2017. 15 p.

GONÇALVES, I. C. **Desenvolvimento de estratégias analíticas limpas para a determinação de proteína e ureia em alimentos.** 2023. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2023.

HOPPE, T. D. et al. **O uso de imagens digitais na química: um experimento didático para a determinação de proteínas em amostras de alimentos.** – Universidade Federal de Santa Catarina. Blumenau. 2021

LAMARCA, R. S.; LIMA, G.P., P. C. F. A low cost method for carbamazepine, ciprofloxacin and norfloxacin determination in pharmaceutical formulations based on spot-test and smartphone images. **Microchemical Journal**, v. 152, p. 104297, jan 2020. ISSN 0026265X.

MENDES, M. F. A.; BENFATO, M. S. **Espectrofotometria.** 2010. Disponível em <[http://www.ufrgs.br/leo/site\\_espec/bibliografia.html](http://www.ufrgs.br/leo/site_espec/bibliografia.html)> Acesso em 09/05/2019.



Milla González, Miguel, et al. **Contenido de quinina en un agua tónica mediante fluorescencia molecular**. Práctica de laboratorio interactiva. 2020. rodin.uca.es, <https://rodin.uca.es/handle/10498/24048>.

NEIVA, J. V. C. M.. **Desenvolvimento de método analítico para determinação de fármacos com uso de Arduino**. 2020. 48 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

NUNES, J.C., MACEDO, E. R. "Introdução ao ensino da física quântica no ensino médio: um relato de experiência". **Brazilian Journal of Development**, vol. 5, nº 7, 2019, p. 9163–69. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-114>

OLIVEIRA, D. M.; NOVAES, C. G.; SILVA JUNIOR, L. J. C.; PEREIRA, R. S.; BEZERRA, M. A; **Desenvolvimento de um Fluorímetro Artesanal e Propostas para sua Aplicação nas Aulas Práticas de Disciplinas de Química Analítica Instrumental nos Cursos de Graduação**. **Revista Virtual de Química**, Jequié-B, Brasil, v. 7, n. 6, p.2438-2456, 2015.

OLIVEIRA, G.B. **Forma de linha de espectros de luminescência de moléculas conjugadas**. 2023. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física Médica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

PAVONI, J.F.; NEVES-JUNIOR, W.F.P.; SPIROPULOS, M.A. ; ARAUJO, D.B. de. **Uma montagem experimental para a medida de fluorescência**. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. 2014, vol.36, n.4, pp.01-09. ISSN 18061117. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172014000400018>.

PIASSALONGA, G. B. **Desenvolvimento de dispositivo de baixo custo aplicado**

**em análises químicas**. Instituto de Química. Araraquara.2022. Disponível em <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/0b30f941-3abb-46c0-a5a5-8a952fe1c154/content>, Acesso em 12/12/2023.

POCHIVALOV, A.; VAKH, C. ANDRUCH, V.; MOSKVIN, L.; BULATOV, A. **Automated alkaline-induced salting-out homogeneous liquid-liquid extraction coupled with in-line organic-phase detection by an optical probe for the determination of diclofenac**. *Talanta*, v. 169, p.156-162. 2017.

REIS, R.A. **Desenvolvimento de equipamento multifuncional portátil de baixo custo para determinações fotométricas, turbidimétricas, nefelométricas e fluorimétricas**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araquara, São Paulo, 2014.

RIBEIRO, V. L., & SONODA, R. T. (2022). ISAAC NEWTON E A ÓPTICA. RECIMA21 - **Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, 3(9),e391870. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i9.1870>

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

Urbano A. K. [et al.]. Determinación de quinina en tónicas mediante tratamiento de imagen. A: "XIII Congreso Nacional del Color: Terrassa, 29-30 juny - 1 juliol, 2022". Universitat Politècnica de Catalunya, 2022, p. 44-47.