



Identificação de cores e comprimentos de onda da luz proveniente de monitores e telas de TVs usando um espectrógrafo caseiro

Identification of colors and wavelengths from the light coming from monitors and TVs displays using a homemade spectrograph

J. P. Santos^{1*}; S. Scarano Junior²

¹Programa de Pós-Graduação em Educação (PPGED), Universidade Federal de Sergipe (UFS), 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

²Departamento de Física (DFI), Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

*scaranojr@gmail.com

(Recebido em 30 de novembro de 2021; aceito em 15 de junho de 2022)

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) traça as diretrizes para o a educação básica e elaboração de currículos com elementos em comum por todas as regiões do Brasil. Este documento traz consigo uma série de recomendações acerca da necessidade da oferta de um ensino contextualizado e baseado no desenvolvimento de competências e habilidades no estudante. Frente a este cenário, desenvolveu-se uma atividade experimental para o ensino de objetos de conhecimento ligados à Física Ondulatória, através do estudo da formação de imagens em cores nos monitores, TVs e telas em geral. A investigação parte da análise espectral das cores que são geradas nestas telas, por meio da observação e calibração de espectros luminosos extraídos de duas TVs: uma LCD e outra de LED. A metodologia envolveu a montagem do aparato experimental para a obtenção dos espectros, os passos para o tratamento dos espectros afim de possibilitar a calibração e, por fim, são apresentadas as etapas para a calibração. Os resultados das calibrações dos espectros apresentaram dados coerentes com a faixa de comprimento de onda das cores dos LEDs no sistema RGB a partir dos quais fomos capazes de determinar seus comprimentos de onda central e largura de banda. Neste sentido, o presente artigo compõe um material didático potencialmente significativo, tendo em vista a correlação dos conteúdos de Física com elementos do dia a dia dos estudantes.

Palavras-chave: cor, calibração em comprimento de onda, ensino.

The National Curricular Common Base (BNCC) sets a guideline for the Basic Education and the common educational background to be spread across all regions of Brazil. This document brings a set of recommendations highlighting the need to offer a contextualized education based on the development of skills and competences of the students. In face of this scenario, this work brings an experimental activity that teaches some objects of knowledge related to Physics of Waves, by means the study of the formation of color images on monitors, TVs and screens in general. This investigation starts from the analysis of the colors that comes from the light observed in the calibrated spectra from two different TVs: one LCD and another a LED display. The methodology involved the assembly of the experimental apparatus to obtain the spectra, the steps for the treatment of the spectra, in order to allow its calibration and, finally, the steps for the spectra calibration. As a result, we obtained calibrated spectra in the wavelength range of the colors of the LEDs used in the RGB system of the screens and from which we were able to determine their central wavelengths and wavelength bands. In this sense, this work composes a potentially significant learning material, correlating the contents of Physics with elements of the students' daily lives. Keywords: color, wavelength calibration, teaching.

1. INTRODUÇÃO

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) visa assegurar as aprendizagens fundamentais ao desenvolvimento integral dos estudantes brasileiros por meio de dez competências gerais para a educação básica disponíveis na base [1]. Em articulação com as dez competências gerais, cada área do conhecimento possui suas competências específicas, que são estabelecidas a partir do ensino fundamental e são reestruturadas para atender às necessidades de formação do estudante do ensino médio, criando, para cada área do conhecimento, um conjunto de

competências específicas para o ensino fundamental e um pra o ensino médio. Segundo a BNCC, uma competência é definida “como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho” [1].

Uma competência constitui uma indicação objetiva dos saberes que os alunos devem desenvolver em termos de conhecimentos, habilidades, atitudes e valores e a mobilização destes, para exercer a cidadania e resolver demandas complexas ligadas à vida cotidiana e ao mundo do trabalho [1]. Portanto, a explicitação das competências a serem desenvolvidas em cada etapa da educação básica “oferece referências para o fortalecimento de ações que assegurem as aprendizagens essenciais definidas na BNCC” [1].

Cada competência específica para o ensino médio, possui um conjunto de habilidades que os alunos devem desenvolver mais especificamente para alcançar a capacidade de mobilização apresentada no domínio de uma competência. Na área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Física, Química e Biologia), a BNCC indica que os estudantes devem ampliar suas habilidades investigativas, sustentando-se em análises quantitativas e na avaliação e comparação de modelos explicativos [1]. Assim o ensino deve proporcionar aos alunos aspectos práticos dos temas a serem estudados, de modo que o ensino seja favorável ao desenvolvimento de competências e, para isso, é importante englobar fenômenos e/ou objetos do universo vivencial dos estudantes afim de criar problemas ligados aos temas de estudo, mas que também se conectem à realidade do aluno para a promoção de um aprendizado contextualizado.

Muitos dos aparelhos eletroeletrônicos que são facilmente encontrados nas casas dos alunos, mesmos daqueles que vivem nas localidades mais carentes, tem estreita relação com temas do currículo de Física e podem ser explorados como forma de levar os conhecimentos teóricos à prática, possibilitando um novo olhar dos alunos perante as tecnologias e seu papel cultural, visto que a presença destas interfere no meio que cerca o estudante.

A temática e o conjunto de habilidades mobilizadas na atividade descrita neste artigo situam-se na competência 3, dentre as Competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o ensino médio. Esta competência, indica que o estudante deve ser capaz de “Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza [...]” [1]. As habilidades mobilizadas são a 301 “Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.” [1], as habilidades 307 “Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações [...] e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.” [1] e a habilidade 308 “Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.” [1].

Dentro das habilidades supracitadas a Física proporciona uma grande gama de relações que permite uma descrição científica do mundo que nos cerca, lidando desde os fenômenos da natureza até os desenvolvimentos tecnológicos promovidos pelo próprio homem, com suas ferramentas, máquinas, técnicas e dispositivos. Entre estes se encontram os aparelhos eletrodomésticos, TVs cada vez mais modernas, smartphones, transmissão de dados via bluetooth, tablets etc. O crescente e cada vez mais ágil avanço da tecnologia pode camuflar a gradativa história de desenvolvimento tecnológico e todo seu potencial interdisciplinar para o ensino de Ciências da Natureza.

Neste trabalho, foi desenvolvida uma atividade prática, que explora a essência física dos processos relacionados à formação de cores por adição de luz, onde as cores base são o vermelho, verde e o azul [2]. Foi utilizado como contexto a formação de imagens em telas digitais e a exploração destas por meio de técnicas espectroscópicas. A tecnologia que utiliza massivamente esse sistema de formação de cores é provavelmente a que partilha mais momentos da vida cotidiana da população, pois está presente em telas de monitores, celulares e outros dispositivos diversos. Segundo dados obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE), através da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) realizada no ano de 2019, 81,5% dos domicílios brasileiros possuíam uma televisão de tela fina e 18,4% possuíam apenas televisores de tubo e 81,0% das pessoas com 10 anos ou mais tinham telefone móvel celular para uso pessoal sendo que 94% das residências possuíam ao menos um telefone celular. Estes dados demonstram como as telas, estão presentes na vida da maioria dos brasileiros [3]. Desse modo a “prevalência do digital e a interferência das telas no cotidiano conformam o digital como um terceiro entorno social, que se integra aos entornos natural e urbano” [4].

A temática desenvolvida neste trabalho se relaciona com o contexto atual de seleção dos alunos para o ensino superior, visto que grande parte dos estudantes busca se preparar para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). Neste exame um dos temas mais abordados em Ciências da Natureza relacionados à matéria de Física, são os tópicos de Ondulatória [5, 6]. Na edição do ENEM de 2020, as questões envolvendo tópicos de Ondulatória somaram aproximadamente 33% das questões de Física.

As aplicações da Física Ondulatória têm se tornado cada vez mais consideráveis e evidentes. Atualmente somos cercados de elementos que estão intimamente relacionados à natureza da luz, seja ela ondulatória ou corpuscular. O ano de 2015 foi proclamado pela Organização das Nações Unidas (ONU) como o ano internacional da Luz e das Tecnologias baseadas na Luz. Estas tecnologias têm grande importância no desenvolvimento sustentável, podendo ajudar a comunidade internacional a enfrentar os desafios do século XXI [7].

A tecnologia ligada à iluminação mais difundida no mercado está presente nas lâmpadas de LEDs (diodos emissores de luz). Nos dias de hoje, esta é a tecnologia predominante na fabricação das telas e monitores. Inicialmente, a luz emitida por estes componentes estava apenas na faixa do infravermelho ou vermelha e possuíam baixa luminosidade. No início dos anos 90 os cientistas japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e o japonês naturalizado americano Shuji Nakamura inventaram o LED azul com alta luminosidade, o que os concedeu o prêmio Nobel de Física em 2014 [8]. A consequência mais importante desta invenção foi a possibilidade de construir dispositivos mais eficientes em termos energéticos e que permitissem, juntamente com LEDs de outras cores, a emissão de luz branca, ou de qualquer outra cor, com brilho suficiente para substituir lâmpadas de outra natureza.

Na atividade experimental proposta neste artigo, apresentamos um mecanismo para a obtenção de espectros compostos pela luz de uma lâmpada fluorescente padrão (qualquer lâmpada fluorescente caseira) e a luz emitida por aparelhos televisores em uma única imagem. A partir de um procedimento de calibração em comprimento de onda discutimos sobre a formação de cores em telas de monitores e TVs de LED e LCD. A determinação dos comprimentos de onda da luz emitida pelos píxeis que compõem essas telas, é uma medida que estabelece um conceito objetivo para determinar cores.

Para obter valores de comprimento de onda de fontes de luz coloridas, esta atividade propõe a realização de uma calibração em comprimento de onda, feita com o auxílio do software de análise de imagens DS9, e com o uso de uma planilha digital para facilitar a visualização e a execução de contas repetitivas.

O objetivo desta atividade é proporcionar aos alunos uma nova perspectiva do estudo de tópicos da Ondulatória. A possibilidade de ligar uma medida numérica (comprimento de onda) a uma cor, extrapola a análise qualitativa mais comumente observada nos trabalhos que envolvem espectroscopia no ensino médio [9-12].

Esta atividade explora a composição de cores no sistema de cores RGB, além de proporcionar ao aluno a experiência de obter características quantificáveis de uma cor. Isto conduz o estudante para uma abordagem investigativa do mundo ao seu redor, e com potencial para gerar aprendizagem significativa, além de explorar o aspecto colaborativo da atividade, se realizada em grupos [13]. Para a aplicação desta atividade recomenda-se três aulas de 50 minutos cada. A primeira destinada a explorar os elementos de uma onda e o espectro eletromagnético. As outras duas aulas são destinadas ao uso do DS9 e à calibração, sendo preferível que estas aulas sejam geminadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 A Calibração de um espectro

Quando a luz de uma fonte luminosa (primária ou secundária) passa por um prisma, rede de difração, ou por qualquer material que possua as propriedades de dispersão da luz, essa luz é decomposta em suas partes constituintes. O caso da luz branca é um exemplo, já que esta cor é uma mistura de todas as cores visíveis [14]. Talvez o caso mais conhecido de decomposição da luz em suas cores constituintes seja formação de arco-íris devido a refração da luz dentro de gotículas de água.

Para análise de espectros em geral é necessário que passem por processos de calibração. A calibração visa estabelecer uma correspondência entre valores de uma grandeza física medida instrumentalmente e os valores físicos conhecidos desta grandeza. Para esta comparação utilizou-se as posições relativas entre as linhas espectrais de um elemento e os respectivos comprimentos de onda de cada linha da lâmpada de calibração, por exemplo. Com esta correspondência é possível obter uma correlação entre uma grandeza desconhecida medida no instrumento e o valor equivalente na escala física, como por exemplo a determinação de um comprimento de onda de uma linha espectral desconhecida. Assim, de uma forma geral, a calibração é o processo de estabelecer uma relação unívoca entre dois valores: uma medida instrumental e a grandeza física de interesse. A importância desta etapa é possibilitar a quantificação de grandezas que de outra forma só poderiam ser exploradas de maneira qualitativa.

Neste trabalho, para a realização da calibração em comprimento de onda de um espectro, deve-se estabelecer uma correspondência entre a posição física (na imagem) onde se encontra uma linha espectral (medida, por exemplo, em píxeis ou em centímetros) e os seus respectivos comprimentos de onda em nanômetros (nm) ou Angströms (Å). Por fazer esta correspondência em uma imagem digital capturada por uma câmera fotográfica, e sabendo que nestes dispositivos as informações são registradas em uma matriz de píxeis, realizou-se o procedimento assumindo que a dimensão onde estão distribuídas as diferentes cores do espectro será medida em unidades de píxeis da imagem. No nosso caso a direção onde as cores estão espalhadas é horizontal (eixo das abscissas), então todos os pontos da imagem com uma mesma abscissa corresponderão a uma mesma cor. Utilizamos um espectro que pode ser obtido a partir de lâmpadas fluorescentes espirais de 127V (Volts) e 30W (Watts) comumente disponíveis no mercado, como espectro de referência (calibração). A emissão da luz dessas lâmpadas é proveniente de transições eletrônicas do vapor de mercúrio presente em seu interior, de modo que ao decompor a luz emitida por este tipo de lâmpada é possível notar as linhas de emissão características deste elemento químico [15]. Os comprimentos de onda conhecidos das linhas de mercúrio na região visível do espectro podem ser vistos na Figura 1.

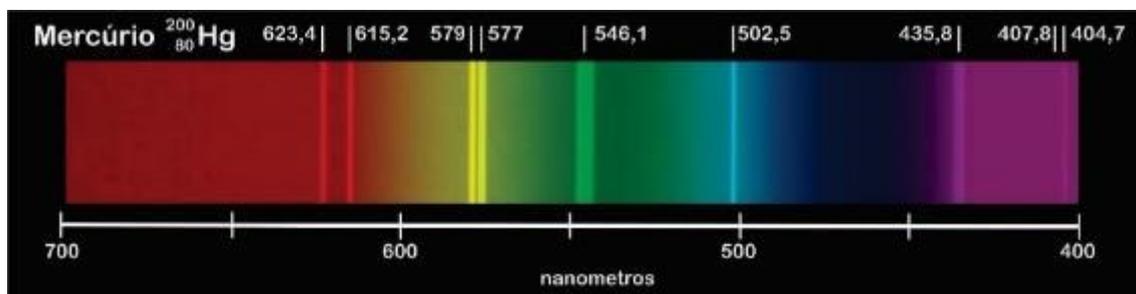


Figura 1: Linhas de mercúrio reconhecidas na parte óptica do espectro em que os comprimentos de onda conhecidos estão medidos em nanômetros. Esta figura trata-se de um espectro de referência produzido e colorido sinteticamente utilizando dados do NIST [15] e o GIMP.

2.2 O aparato experimental

Para que fosse possível observar o espectro produzido por telas de TVs foi construído um aparato experimental de acordo com a Figura 2.

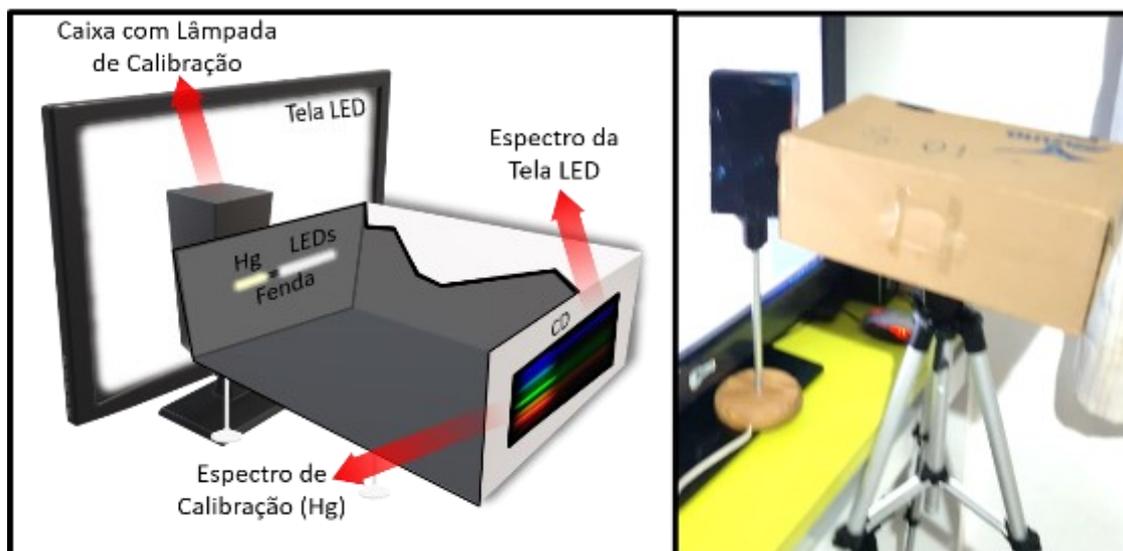


Figura 2: Esquema do aparato experimental para a obtenção do espectro (píxeis da TV em uma imagem branca + lâmpada fluorescente).

Na Figura 2 a montagem é composta por: espectrômetro, lâmpada fluorescente dentro de um obturador (objeto cobrindo a lâmpada, com uma pequena abertura para restringir a quantidade de luz que entra no espectrógrafo e a TV. Na Figura 2, à direita, está uma foto do aparato experimental usado para a obtenção dos espectros. As fotografias de espectros obtidos com o espectrômetro caseiro serão semelhantes à Figura 3. Para obter um espectro de boa qualidade o conjunto do obturador mais o espectrômetro deve ficar o mais próximo possível da TV. Um exemplo dos espectros obtidos como a configuração do aparato experimental descrita na Figura 2, já recortado e retificado, é apresentado na Figura 4.

Os elementos básicos do espectrógrafo utilizados neste trabalho foram propostos por Santos e Scarano Jr (2019) [16]. Para este trabalho adaptou-se a fenda adicionando duas lâminas de barbear paralelas entre si, com uma abertura de aproximadamente 0,3 mm entre as duas. Este processo permitiu regular a fenda de modo a ser mais estreita que a descrita no processo de montagem do espectrômetro que foi utilizada [16]. Este estreitamento pode promover linhas espectrais com maior resolução, às custas de um fluxo menor. Outra alteração que foi feita foi pintá-lo internamente de preto, o que diminui a reflexão da luz no interior do espectrômetro. Estas alterações na montagem do espectrômetro melhoram a qualidade dos espectros, porém o modelo do espectrômetro apresentado em Santos e Scarano Jr (2019) [16] já permite a obtenção de espectros com qualidade suficiente para a atividade. As fotos dos espectros feitas para cada tipo de TV mais a lâmpada fluorescente estão presentes na planilha digital e em nosso repositório [17], podendo ser captadas pelo uso de um espectrômetro caseiro e uma câmera fotográfica digital seguindo a montagem do aparato experimental da Figura 2.

Qualitativamente é possível verificar a correspondência das linhas do espectro da Figura 1 com as do espectro de uma lâmpada de vapor de mercúrio (lâmpada fluorescente) observado à direita na Figura 3. O que foi realizado nesta atividade é comparar um espectro de uma lâmpada fluorescente, que possui linhas espectrais de mercúrio cujos valores dos comprimentos de onda podem ser tomados como referência, com o espectro de uma tela de TV de LED e uma LCD, para assim descobrir qual o comprimento de onda dos subpíxeis das duas TVs, estabelecendo um número relacionado a cor destes.

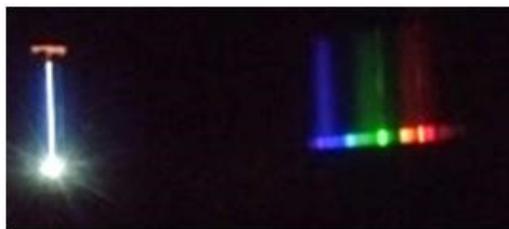


Figura 3: Aspecto de uma fotografia obtida no espectrógrafo. À esquerda encontra-se a fenda, cujo comprimento é de 3,5 cm.

Durante o desenvolvimento desta atividade, repetiram-se procedimentos já conhecidos, buscando ter em um mesmo espectro as duas fontes de luz: a luz que se deseja investigar e a lâmpada de calibração. Devido ao brilho excessivo da lâmpada de calibração, o espectro da luz emitida pelas TVs pode ficar contaminado com a luz da lâmpada de calibração. Apesar desse risco de contaminação, é possível distinguir os dois espectros pois as linhas do espectro de calibração são mais estreitas que as da TV, o que facilita o processo de diferenciação dos espectros destas duas fontes. Para minimizar a sobreposição espectral, pode-se fixar a câmera (aparelho celular) no espectroscópio (com fita adesiva) e manter o espectroscópio em uma posição fixa. Assim é possível tirar fotografias distintas dos dois espectros: uma com a lâmpada fluorescente acesa, e a outra com a lâmpada fluorescente apagada, tendo como única fonte de luz a provinda da TV. Assim como não há qualquer mudança no aparato experimental, o procedimento de sobreposição de um espectro sobre outro pode ser realizado sem afetar a calibração em comprimento de onda. O resultado deste procedimento pode ser visto na Figura 4.

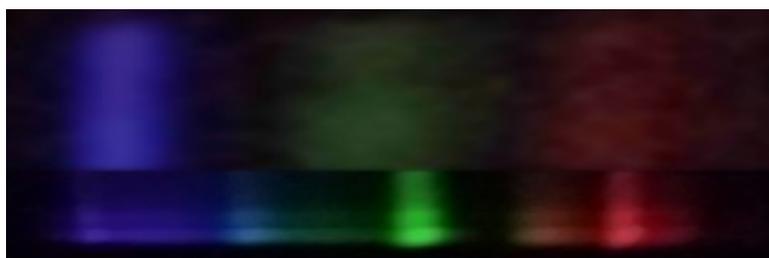


Figura 4: Espectro da luz oriunda de uma TV de LED (parte superior da imagem) mais o da lâmpada fluorescente (parte inferior da imagem). As duas fotos possuem as mesmas coordenadas física na direção da dispersão. Este espectro foi obtido através do aparato experimental apresentado na Figura 2 e já passou pelo processo de retificação dos espectros.

2.3 Retificação de espectros caseiros

O espectro visível contínuo é composto por todas as cores, tendo em uma das extremidades a cor vermelha e na outra a violeta. Como a luz violeta possui maior frequência que a luz vermelha, ela interage mais intensamente com o meio dentro de uma mesma distância, sofrendo um maior efeito de refração. Isto implica em um maior desvio em relação ao ângulo de incidência da luz quando esta não ocorre perpendicularmente a interface entre os meios. Esse desvio impõe um maior afastamento entre as cores na superfície de incidência. Como o plano de detecção da câmera e de dispersão do espectro encontram-se a distâncias diferentes para cada cor, os espectros obtidos com o uso de espectroscópios caseiros frequentemente apresentam efeitos de perspectiva na imagem resultante (os efeitos de perspectiva em espectros ocorrem também e espectrômetros profissionais).

Para realizar corretamente a calibração foi preciso corrigir o efeito de perspectiva retificando o espectro. Em nosso caso específico o efeito de perspectiva pode produzir desvios nas incertezas das posições das linhas de até 40 nm a mais quando comparado com os espectros corrigidos. Santos e Scarano Jr (2021) [15] trazem detalhes da formação do espectro no espectrógrafo caseiro e sobre a sua retificação.

A descrição do processo de retificação, está disponível em Santos e Scarano Jr (2018) [18], onde são apresentados os detalhes de como utilizar o software de código livre GIMP para corrigir os efeitos de perspectiva; Scarano Jr e Santos (2018) [19] apresenta os passos para a instalação do GIMP.

2.4 Utilizando o DS9 e uma planilha eletrônica para calibração de espectros

Para a realização da calibração usou-se, como unidade de medida para as posições das linhas espectrais, os píxeis da imagem processada. Na prática, a medida da posição das linhas pode ser feita em qualquer unidade, tanto na imagem digital quanto numa versão impressa, usando como referência uma régua, por exemplo. Neste contexto foi utilizado o software profissional de visualização de imagens astronômicas DS9 [20]. Os passos abaixo servem de guia para a obtenção dos valores das posições das linhas espectrais em píxeis. Para facilitar copie e cole os valores obtidos em píxeis em seus respectivos lugares na planilha eletrônica exibidos na Tabela 1 e disponível para download [17].

1. No software DS9 abrir a imagem gerada, clicando em “File”, seguido de “Import” e “PNG”, para imagem disponibilizada neste trabalho. No caso de imagens próprias, escolha o formato apropriado. A imagem é aberta em tons de cinza, pois inicialmente o DS9 é aberto com um quadro em uma escala de cinzas, como pode ser visto na escala numérica inferior. No entanto isto não afeta a interpretação espectroscópica, pois cada posição na direção horizontal está diretamente associada a uma cor, visto que cada uma é dispersa em direções diferentes. A quantidade de luz em cada direção é registrada pela intensidade de tons de cinza como mostra a Figura 5 (branco = alta intensidade, preto = baixa intensidade).

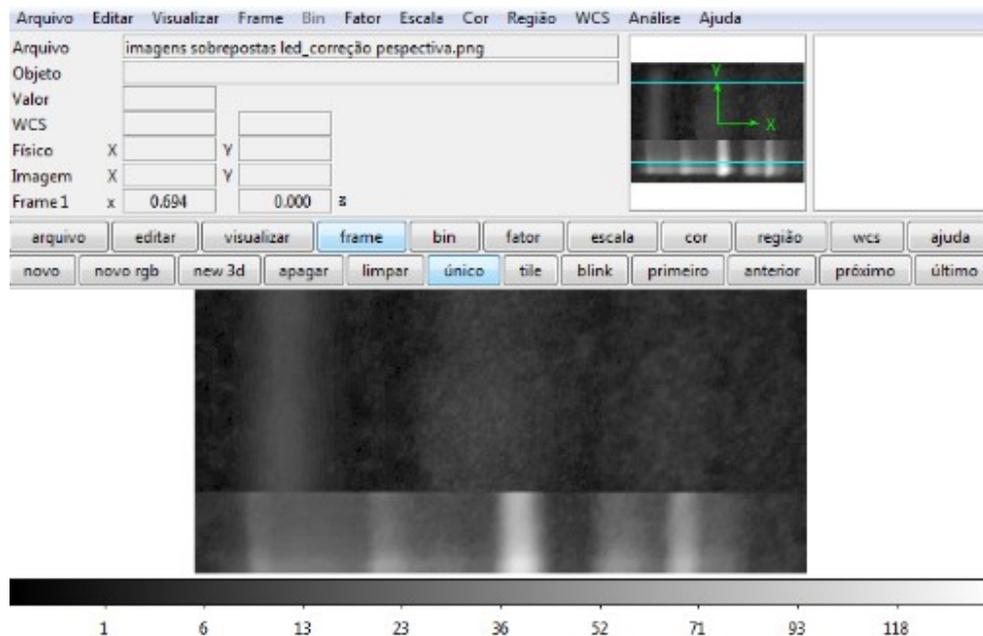


Figura 5: Espectro observado pelo aparato na Figura 2 e registrado em cores na Figura 4. Na parte inferior do espectro encontram-se as linhas de calibração do mercúrio e na parte superior o espectro as dos LEDs.

2. Na aba de ferramentas do DS9 acesse o menu “Region” seguido de “Shape” e “Projection”. Este comando irá ativar uma ferramenta que permite a criação de uma linha sobre o espectro, gerando um gráfico de Intensidade *versus* Posição (em píxeis), ou seja, o espectro unidimensional sobre os píxeis em que a linha é traçado. Clique no canto esquerdo do espectro e

arraste até o canto direito do espectro, como mostra o lado esquerdo da Figura 6 (região na cor verde tracejada);

3. Para reduzir o efeito de flutuações estatísticas da quantidade de fótons em cada direção espectral do espectro unidimensional pode-se fazer a média dos fluxos em cada direção espectral clicando sobre o ponto que aparece no centro da linha verde sobreposta ao espectro (lado esquerdo da Figura 6), e arrastando-a verticalmente até onde se quer amostrar o espectro considerado (conhecido como área de extração). Deste modo, observa-se uma região selecionada, com formato retangular, como na região do espectro selecionada na Figura 6, sobreposta no espectro bidimensional e extraíndo um espectro unidimensional menos ruidoso.

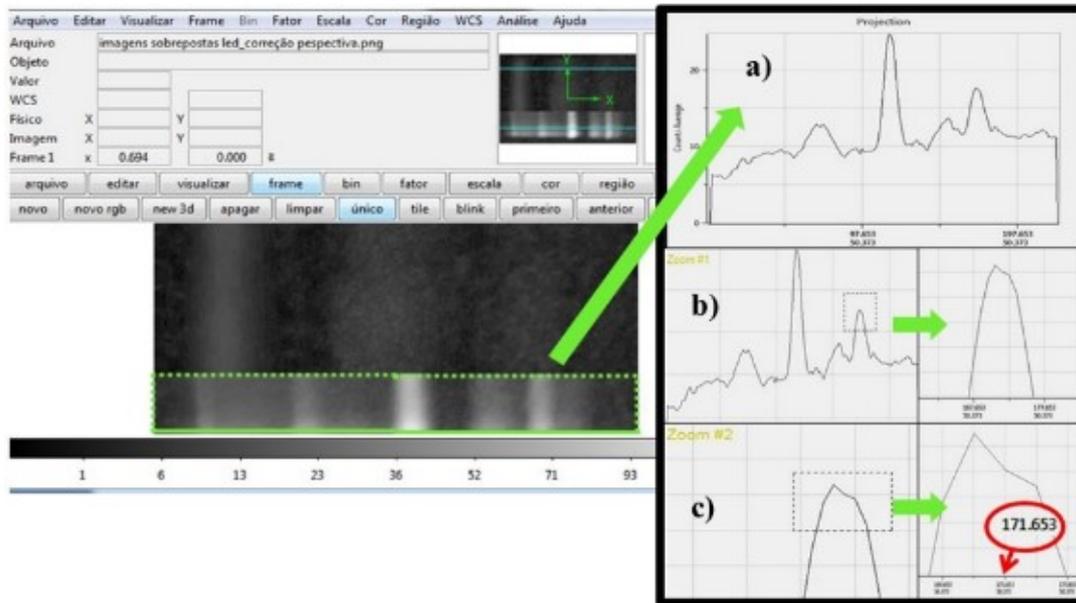


Figura 6: Sequência explicativa de como obter a posição exata do pixel em que se encontra o pico de intensidade luminosa da linha espectral através do zoom. A figura é apenas ilustrativa e a quantidade de zoom necessário pode ser obtida em mais ou menos passos. (a) representa o espectro completo, enquanto (b) e (c) são com diferentes níveis de ampliação.

4. Para verificar a posição de máximo de cada linha, clique no canto inferior esquerdo do gráfico aberto próximo ao pico de interesse e, arraste para o canto superior direito desta mesma posição. Surgirá uma caixa de seleção indicando que o zoom será aplicado (coluna explicativa no lado direito da Figura 6). Ao soltar o clique, o gráfico resultante é o zoom do gráfico original dentro da região selecionada.

Tabela 1 - Tabela que possibilita o ajuste manual da equação da reta automatizado na planilha do material disponibilizado [17]. Os valores numéricos podem ser modificados, alterando características da reta de ajuste manual no gráfico (Figura 9d) por meio da modificação dos parâmetros na planilha de ajuste manual (Figura 9f). A primeira coluna da tabela 1 é referente aos dados do espectro da lâmpada fluorescente presente no espectro da TV de LED (Figura 4). Os valores de referência para a calibração das linhas de mercúrio estão em Santos e Scarano Jr (2019) [16].

Posição física da linha em pixels (WCS)	Comprimento de onda conhecido do mercúrio[nm]	Observado [nm]
72,5	435,8	442,5
202,5	502,5	491,9
343,5	546,1	545,4
450,5	579,0	586,1
517,5	615,2	611,6
550,5	623,4	624,1

Repita este procedimento tantas vezes quanto necessárias para identificar no gráfico o valor em píxeis de cada uma das linhas de calibração associada à posição física da linha espectral na imagem (pico de emissão luminosa), como mostra o círculo vermelho no lado direito da Figura 6c. Registre este valor na coluna verde da tabela (“Posição Física da Linha WCS”) presente na Figura 9a. Para desfazer um nível de zoom, basta clicar com o botão direito do mouse sobre o gráfico.

Nesta atividade os picos devem ser identificados da esquerda para a direita (do azul para o vermelho), como exibido na Figura 7.

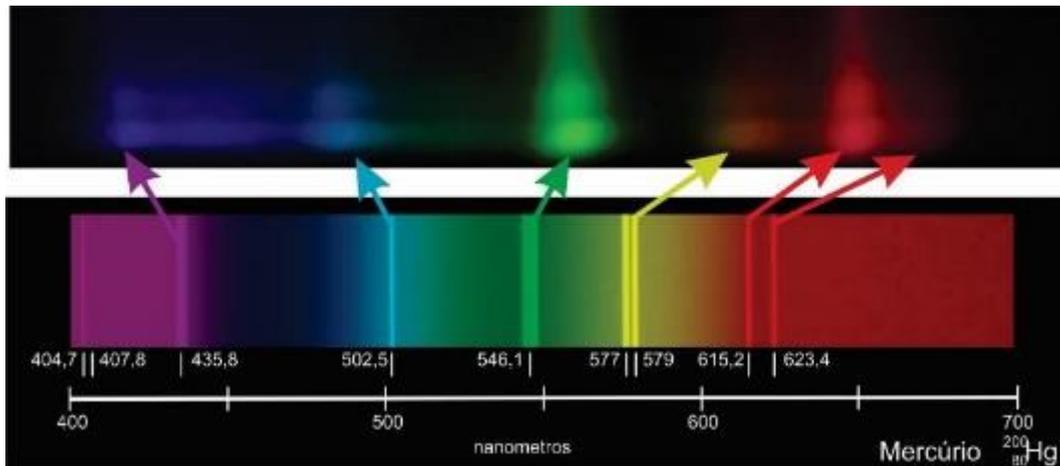


Figura 7: Correspondência entre as linhas espectrais observadas (acima) e as linhas espectrais esperadas, com seus respectivos comprimentos de onda (abaixo).

5. Repita o passo 4 para todas as linhas conhecidas (coluna “Comprimento de Onda Calibrado”) na tabela da Figura 9a.

6. Para obter as posições físicas da luz proveniente da TV clique sobre a região tracejada no passo 3 e com as setas do teclado arraste-a verticalmente até o espectro da luz proveniente da TV (seja LED ou LCD). Este procedimento é detalhado na Figura 8. Não desloque esta região nem para direita nem para esquerda, pois se deve garantir que a posição horizontal, onde se encontra a dispersão, se mantenha.

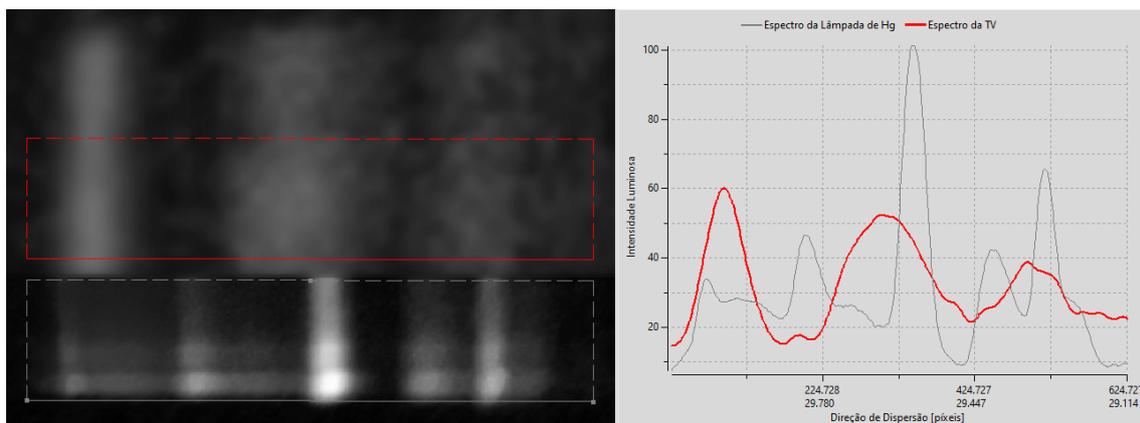


Figura 8: À esquerda, deslocamento da região “Projection” do espectro de calibração (quadro tracejado em cinza) para o espectro da TV (quadro tracejado em vermelho acima). À direita está representado em cinza o espectro em que a região cinza se encontrava e em vermelho o espectro que passará a ser visível após o deslocamento. Como o deslocamento é apenas vertical (obtido usando a seta do teclado para cima) a região amostrada nos dois espectros corresponderá aos mesmos comprimentos de onda.

7. Repita o passo 4 para todos os três picos de emissão da TV (sistema RGB), preenchendo a tabela destinada aos valores dos picos da TV, mostrada na Figura 9a.

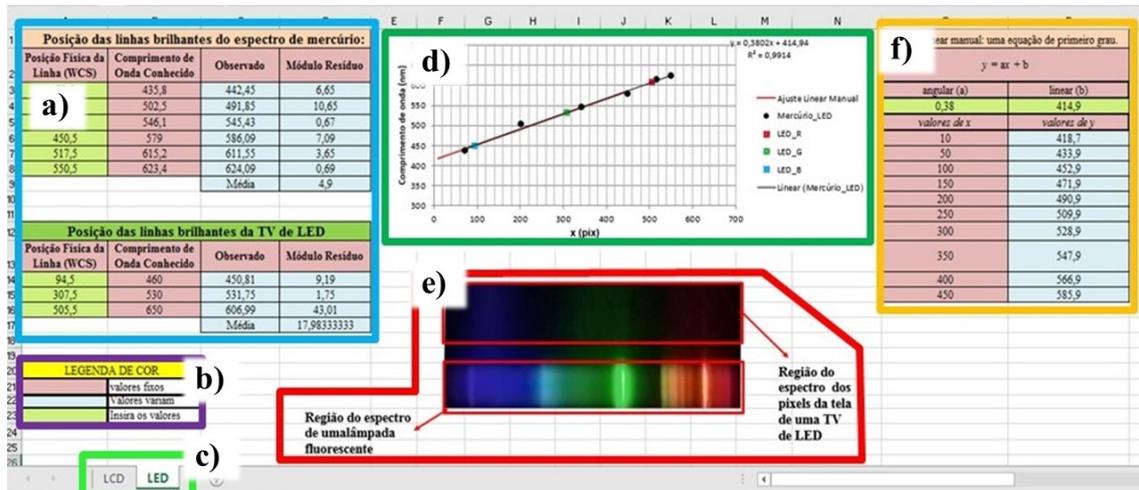


Figura 9: Uma das abas da planilha digital desenvolvida para este trabalho [17]. (a) No quadro azul, estão as tabelas para inserção dos valores das posições físicas das linhas espectrais. Em roxo (b) está uma legenda sobre as cores indicativas para o correto preenchimento da planilha e em verde claro (c), está a indicação das duas abas da planilha, uma para cada TV. Ao meio em verde escuro (d), o gráfico do comprimento de onda conhecido das linhas espectrais versus a posição física das linhas na imagem, do mercúrio e da TV cuja aba estiver selecionada e o ajuste automático dos parâmetros de calibração que pode ser opcionalmente exibido. Em vermelho (e), uma imagem do espectro conjunto das duas fontes de luz. No lado direito em laranja (f), há uma tabela na qual o aluno pode variar os valores dos coeficientes da reta, e experimentar o efeito de mudar os coeficientes linear e angular do ajuste no processo de obter a equação de calibração e aplicá-la aos valores físicos introduzidos.

Na planilha digital auxiliar desta atividade, há duas abas (Figura 9c). Cada uma delas serve para análise de uma TV. Logo, todos os passos acima devem ser realizados para as duas TVs. Em cada aba, existe uma tabela para a inserção das posições físicas dos picos de emissão em píxeis (eixo x da imagem) da lâmpada fluorescente (com vapor de mercúrio) e outra tabela para a introdução dos valores das posições dos picos do espectro da TV. Na Figura 9 encontra-se uma imagem da planilha digital que foi elaborada para esta atividade, com detalhamento de cada função da planilha. Note que há uma legenda de cores (Figura 9b), indicando em quais partes da planilha devem ser inseridos os dados.

É importante lembrar que em cada imagem há um espectro conjunto, com duas fontes de luz: a da lâmpada fluorescente e a luz emitida pelos píxeis físicos da TV. Logo, em cada imagem é necessário analisar dois gráficos de Intensidade versus Posição: um para o espectro de calibração e outro para o espectro da luz proveniente da TV.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No eixo vertical do gráfico da Figura 10, obtida com o preenchimento da planilha apresentada na seção anterior, estão os valores dos comprimentos de onda em nm. No eixo horizontal, têm-se dados das posições destes picos em unidades de pixel (x). O método de calibração espectral que foi utilizado neste trabalho se baseia na obtenção de uma equação que fornece a correspondência entre os dados instrumentais e os valores físicos esperados, inseridos durante o preenchimento das tabelas. Optou-se por um modelo linear, uma vez que o cruzamento dos dados instrumentais, extraídos do espectrógrafo, e teóricos, obtidos da literatura, se distribuem como em uma linha reta em primeira ordem. Apesar do melhor ajuste e seus parâmetros poder ser exibido automaticamente para verificação dos resultados, sugere-se como procedimento pedagógico que a equação da reta não seja exibida automaticamente pelo

professor aos alunos em um primeiro momento. Entende-se que se trata de uma boa oportunidade interdisciplinar para trabalhar com tópicos de matemática em paralelo, de modo que os alunos sejam incitados a descobrir a relação entre as grandezas através do manuseio dos parâmetros no módulo de ajuste manual de nossa planilha. Por outro lado, pode ser uma opção didática aceitar a exibição automática do ajuste, cabendo ao professor a interpretação dos parâmetros envolvidos. De todos os modos, as relações matemáticas de nossa atividade quantitativa são trabalhadas.

Em nosso exemplo de aplicação o ajuste automático sem a equação serviu como um guia para um ajuste a ser feito “manualmente” pelos alunos ao serem desafiados a obter os parâmetros de uma equação da reta capaz de se aproximar o melhor possível de todos os pontos. Com isso é explicado que a função resultante permitirá converter os valores medidos em píxeis em unidades de comprimentos de onda, que antes eram desconhecidas e que desse modo podem ser determinadas em uma escala física padrão. Como a atividade desenvolvida neste trabalho tem caráter modular, outra opção para os professores é que esta atividade seja usada com uma turma que já estudou sobre a equação de reta, geometria analítica ou mesmo ajustes lineares.

O estudante deve ser capaz de compreender que ao se traçar uma reta (ajuste) com apenas dois valores, conhecidos como parâmetros, é possível identificar qualquer ponto relacionado à reta ajustada. Assim, utilizando a forma geral a equação da reta contextualizada para nosso problema tem-se:

$$\lambda[nm] = a[nm/pix] \cdot x[pix] + b[nm] \quad (1)$$

sendo a e b os valores destes parâmetros que permitem descrever a reta de calibração. As unidades de cada termo da equação são apresentadas dentro dos colchetes.

O argumento essencial conectando a matemática e a física é que estes parâmetros são fáceis de interpretar fisicamente: o ponto de encontro da reta com o eixo y é a coordenada $(0, b)$, conhecida como coeficiente linear. Ele corresponde ao ponto inicial no qual se começa a traçar a região “*Projection*” com o DS9. Assim alunos que desenharam a região a partir de pontos diferentes terão valores diferentes para este parâmetro. Já o parâmetro a é diretamente relacionado ao ângulo de inclinação da reta em relação ao eixo horizontal (mais especificamente à tangente do ângulo), e por este motivo é chamado de coeficiente angular. Ele representa o quanto varia o eixo vertical em nm para cada variação na direção x em pix (pixel). Ou seja, na equação (1) o coeficiente angular mede quanto cada pixel vale em nm, de tal forma que, como pode ser visto na equação, ao multiplicá-lo por um valor x inserido em píxeis, a grandeza pixel se anulará, restando apenas a dimensão nm que mantém a equação do comprimento de onda dimensionalmente coerente. Utilizando os mesmos procedimentos de calibração, os valores da calibração não mudarão. Assim, estes valores não deverão mudar mesmo na análise de diferentes alunos quando eles usam a mesma imagem do espectro.

Uma vez determinados os parâmetros da reta, será obtida uma função, onde para cada posição física (x) de dada linha espectral na imagem do espectro existe um valor correspondente em comprimento de onda. Esta equação é a utilizada na planilha digital, mas estes cálculos podem ser facilmente realizados de modo independente de computadores em arquivos impressos dos espectros e com o uso de réguas, por exemplo.

A planilha digital usada nesta atividade, conta com um ajuste linear manual e automático. No modo manual o aluno pode inserir valores para os coeficientes angular e linear (Tabela 2), na busca do melhor ajuste. Desse modo ele poderá perceber na prática a influência dos coeficientes linear e angular para a posição e inclinação da reta. Basta instruir aos alunos a tentarem manipular os parâmetros de modo que a equação da reta obtida, com o auxílio da Tabela 2, se sobreponha ao da reta do ajuste automático.

Tabela 2: Tabela de ajuste linear manual presente na planilha digital. Nela é possível modificar os valores dos coeficientes angular e linear e obter uma amostra dos valores obtidos para y, a partir de valores de x inserido na própria tabela. Observe que este ajuste admite quaisquer valores (mas isso não significa que qualquer valor vai fornecer um bom ajuste). Apenas foram inseridos os valores dos coeficientes da calibração para fins de ilustração.

Ajuste linear manual: uma equação de primeiro grau ($y = a \cdot x + b$)		
Valores dos coeficientes	Angular (a)	Linear (b)
	0,38	414,9
Valores do eixo	x	y
	10 píxeis	418,7 nm
	50 píxeis	433,9 nm

No modo automático, o ajuste linear é feito a cada vez que os dados na tabela são modificados. Uma vez inseridos os dados das posições instrumentais dos picos de emissão para os espectros de cada TV analisada, são obtidos os parâmetros de calibração dos espectros a partir dos coeficientes angular e linear da reta ajustados à lâmpada de calibração. No mesmo gráfico onde é feito o ajuste, são sobrepostos os pontos que representam os comprimentos de onda da luz da TV que se tem interesse de determinar estes comprimentos e, portanto, suas cores (na Figura 10 e Figura 11 estão representados os pontos da TV de LED e de LCD respectivamente). O ajuste de reta presente na Figura 10 corresponde à calibração obtida pela equação (2), já o ajuste de reta presente na Figura 11 corresponde à calibração obtida pela equação (3).

$$\lambda[nm] = (0,38 \pm 0,02)[nm/pix] \cdot x[pix] + (415 \pm 7)[nm] \tag{2}$$

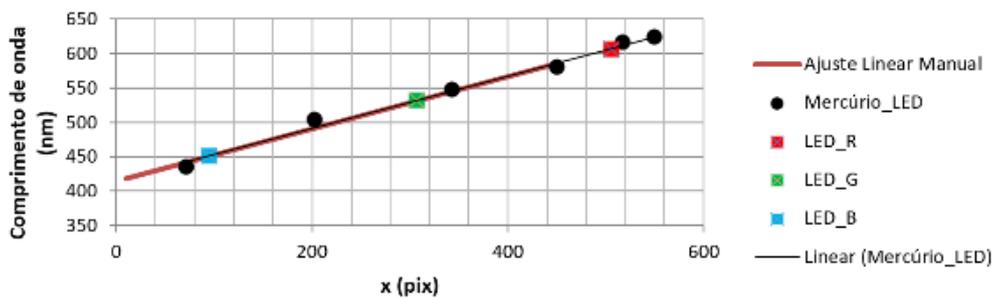


Figura 10: Gráfico do comprimento de onda versus posição do pixel. Os pontos pretos são correspondentes às linhas do mercúrio e os pontos coloridos são os valores dos comprimentos de onda da TV de LED. O gráfico realiza um ajuste linear automático (linha preta), mas possibilita também um ajuste manual (linha marrom) realizado com o auxílio da Tabela 2.

$$\lambda[nm] = (0,23 \pm 0,02)[nm/pix] \cdot x[pix] + 438 \pm 8[nm] \tag{3}$$

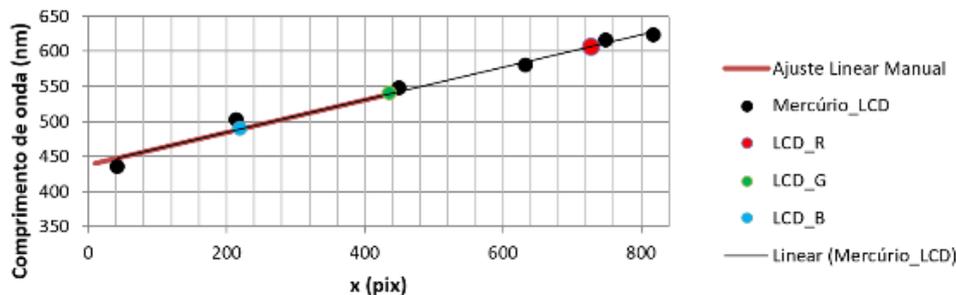


Figura 11: Gráfico do comprimento de onda versus posição do pixel. Os pontos pretos são correspondentes às linhas do mercúrio e os pontos coloridos são os valores dos comprimentos de onda da TV de LCD. O gráfico realiza um ajuste linear automático (linha preta), mas possibilita também um ajuste manual (linha marrom) realizado com o auxílio da Tabela 2.

Nas Figuras Figura 10 e Figura 11, foi possível notar que o ajuste permitiu uma boa aproximação dos dados da calibração, o que mostra que este experimento permite uma análise caseira de boa qualidade.

O professor precisa estabelecer a estratégia de abordagem com seus alunos. Caso deseje, é possível apagar os dados e os elementos dos gráficos que não lhes interessa antes da aplicação do material. Isto pode ser feito, por exemplo, permitindo o ajuste automático ou apenas os ajustes manuais. Também pode ser realizada uma atividade pedindo que os alunos insiram os valores das linhas espectrais conhecidas, por exemplo, por meio de uma pesquisa sobre estes valores.

Com os passos citados, a calibração em comprimento de onda pode ser concluída e os valores dos comprimentos de onda da luz emitida pelos LEDs das duas TVs tornam-se conhecidos, com uma estimativa da dispersão estatística dos dados em relação ao modelo fazendo a diferença entre os valores observados os esperados (resíduos) e calculando a média do módulo dos resíduos.

Os comprimentos de onda obtidos nesta atividade para a TV de LED foram 450,8 nm, 531,7 nm e 607 nm. Comparando com os valores de referência [21], cujos valores são 460 nm, 530 nm e 650 nm, respectivamente para os LEDs azul, verde e vermelho. A média dos erros da nossa calibração foi de 18 nm. Para a TV LCD os valores obtidos na calibração foram 489,1nm (azul); 539,0 nm (verde) e 606,0nm (vermelho). Em comparação com os comprimentos de onda tipicamente usados nestes dispositivos cujos valores são de 445, 530 e 630 nm [21], a média dos erros neste caso foi de 25,7 nm. Estes valores podem variar levemente se a atividade for feita utilizando outras telas, pois os comprimentos de onda centrais podem variar dependendo da fabricação dos píxeis utilizados nas TVs.

4. CONCLUSÃO

A partir de um experimento já comumente realizado por professores que apresentam a espectroscopia como uma curiosidade qualitativa, propôs-se neste trabalho um método para desenvolver uma atividade quantitativa potencialmente significativa e com equações pouco complexas, que podem ser aplicadas à estudantes de qualquer etapa do ensino médio e que traz contribuições mesmo a alunos do ensino superior.

Através da problematização da formação de cores em telas, foi elaborada uma atividade experimental que explora com mais profundidade o conceito de cor, possibilitando a consolidação de conceitos relacionados à Física Ondulatória. Isso foi feito partindo da observação de uma onda eletromagnética no espectro visível e fortemente correlacionada com a competência 3 da BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Durante o processo de calibração é desenvolvida a habilidade 301 da área de Ciências da Natureza e suas tecnologias. Ao proporcionar que a observação da existência de três cores nos espectros provenientes da luz das TVs os estudantes podem desenvolver as habilidades 307 e 308.

Acredita-se que conceitos assim, estrategicamente selecionados e concretamente explorados por meio da experimentação e de métodos investigativos, permitem um processo de extrapolação mais significativo a outros tipos de onda também presentes no cotidiano, como a radiação infravermelha usada em portas que abrem automaticamente, o forno de micro-ondas, o exame de raio X, etc.

As calibrações permitiram que os picos de emissão dos espectros provenientes das TVs nas cores, azul, verde e vermelho fossem relacionados aos valores de comprimento de onda. Assim, o conceito de cor passa a ter um critério quantificável. Os comprimentos de onda foram obtidos para a TV de LED nas cores azul, verde e vermelho, fornecendo respectivamente 450,8 nm, 531,7 nm e 607nm e para a TV LCD os valores obtidos na calibração foram 489,1 nm (azul); 539,0 nm (verde) e 606,0 nm (vermelho). Comparando com os valores da referência utilizada, a média dos erros da calibração foi de 18nm para a TV de LED e de 25,7nm para a TV LCD.

O mesmo experimento pode ser feito com diversas simplificações, incluindo a obtenção do espectro da tela de um celular e apresentando aos alunos espectroscopicamente a correlação entre as cores observadas e a combinação e intensidades diferentes em cada cor. Em um

trabalho futuro será apresentada a calibração em fluxo com o DS9 e como isso será possível investigar outra dimensão quantitativa explorando espectros caseiros.

Esta atividade foi elaborada para ser aplicada em turmas do 2º ano do Ensino Médio, mas é válida também para aplicação em turmas de 1º ano, pelo uso do ajuste linear, e também em turmas de 3º ano, por possuírem no currículo de Física, a investigação sobre radiação eletromagnética. Destaca-se ainda que a atividade aqui descrita possui forte potencial para ser desenvolvida na modalidade de ensino remoto, pois todo o material é digital e está disponível na internet. Desta maneira, ao embutir um grande potencial investigativo, pode conduzir os alunos a uma postura mais questionadora sobre seu meio, favorecendo assim a aprendizagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. Ministério da Educação (MEC). Base Nacional Curricular Comum [Internet]. Brasília (DF): MEC; 2018 [citado em 17 nov 2021]. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/B_NCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf
2. Rocha JC. Cor luz, cor pigmento e os sistemas RGB e CMY. *Rev Belas Artes*. 2010;2(3):1-19.
3. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD): Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2019 [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE; 2021 [citado em 4 maio 2022]. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101794_informativo.pdf
4. Barsotti A, Quadros C, Barbosa S. Futuro do presente: novos cenários emergem nas experiências midiáticas do cotidiano mediado por telas. *Rev Mídia Cotidiano*. 2022 jan-abr;16(1):1-7. doi: 10.22409/rmc.v16i1.52881
5. Ilhéu T. Quais os assuntos de Física mais cobrados no Enem. Guia do Estudante [Internet]; 11 set 2019 [citado em 17 nov 2021]. Disponível em: www.guiadoestudante.abril.com.br/estudo/quais-os-assuntos-de-fisica-mais-cobrados-no-enem/
6. Gonçalves JV. 5 assuntos de Física que mais caem no Enem. Geekie games [Internet]; 12 out 2018 [citado em 17 nov 2021]. Disponível em: www.geekiegames.geekie.com.br/blog/assuntos-de-fisica-que-mais-caem-no-enem/
7. Em 2015, ONU comemora Ano Internacional da Luz. Nações Unidas Brasil [Internet]; 22 jan 2015 [citado em 10 nov 2020]. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/68529-em-2015-onu-comemora-ano-internacional-da-luz>
8. The Nobel Prize in Physics 2014. NobelPrize.org [Internet]; 2014 [citado em 10 de nov de 2020]; Disponível em: www.nobelprize.org/prizes/physics/2014/summary/
9. Lacarra M, Majcher A. Classroom experiments and activities – Spectra around us - playing with a spectroscope. Eu-Hou [Internet]; 2016 [citado em 2 fev 2021]; Disponível em: <http://www.euhou.net/index.php/exercises-mainmenu-13/classroom-experiments-and-activities-mainmenu-186/179-observations-of-various-spect>
10. Barros LG, Assis A, Langhi R. Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia. *Cad Bras Ens Fís*. 2016 dez;33(3):1026-46. doi: 10.5007/2175-7941.2016v33n3p1026
11. Catelli F, Pezzini S. Laboratório caseiro: observando espectros luminosos-espectroscópio portátil. *Cad Bras Ens Fís*. 2002 ago;19(2):264-72. doi: 10.5007/2175-7941.2002v19n2p264
12. Cavalcante MA, Tavoraro CR. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. *Cad Bras Ens Fís*. 2001;18(3):298-316.
13. Moreira M. A. Teorias de aprendizagem. São Paulo (SP): Editora pedagógica e universitária São Paulo; 1999.
14. Oliveira Filho KS, Saraiva MFO. Astronomia e astrofísica. São Paulo (SP): Livraria da Física; 2004.
15. Santos JP, Scarano Jr S. Explorando quantitativamente observações feitas com espectrógrafos caseiros por meio de recursos digitais. *Rev Bras Ens Fís*. 2021;43:e20210206-1-15. doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0206
16. Santos JP, Scarano Jr S. Polêmica das cores: Determinando objetivamente as cores de lasers utilizando espectros obtidos com espectroscópios caseiros. In: Souza DN, editor. *Ensino de Física do olhar à Prática*. São Cristóvão (SE): Editora da Universidade Federal de Sergipe; 2019. p. 10-37.
17. Santos J, Scarano Jr S. GitHub.com [Internet]; 2021 [citado em 28 nov 2021]. Disponível em: www.github.com/JSantosSScaranoJr/Santos_ScaranoJr_2021_ScientiaPlena.git
18. YouTube^{BR}, ASTUTOS-UFS [Internet]. Retificando Espectros Extraídos com Espectrógrafos Caseiros Utilizando o GIMP; 04 mar 2018 [citado em 10 nov 2020]. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=4ojEY_omC8c

19. YouTube^{BR}, ASTUTOS-UFS [Internet]. Instalando o Guimp; 10 fev 2018 [citado em 10 nov 2020]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9pLlFr2fqpo>
20. Scarano Jr S. Manual de utilização do Programa DS9 [Internet]; 2007 [citado em 10 nov 2020]; Disponível em: www.telescopiosnaescola.pro.br/manual_ds9.pdf
21. Chen J, Gensler S, Yurek J. Quantum dots for ultra-high color gamuts in LCDs. *Spie Newsroom*. 2015;1-3. doi: 10.1117/2.1201504.005791