



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – UEM

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS – CCE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA – DFI

RAFAEL DE ASSIS GRACIOLI

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS DE
EXPERIMENTOS REMOTO E VIRTUAL DE RADIAÇÃO DE
CORPO NEGRO**

MARINGÁ – PR

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – UEM

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS – CCE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA – DFI

RAFAEL DE ASSIS GRACIOLI

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS DE
EXPERIMENTOS REMOTO E VIRTUAL DE RADIAÇÃO DE
CORPO NEGRO**

Monografia apresentada ao curso
de Física para obtenção do Grau de
Licenciado em Física

Orientado por: Paulo Ricardo
Garcia Fernandes

MARINGÁ – PR

2022

“Nada na vida deve ser temido, somente compreendido. Agora é hora de compreender mais para temer menos”.

Marie Skłodowska-Curie

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – UEM

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS – CCE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA – DFI

RAFAEL DE ASSIS GRACIOLI

**EXPERIMENTOS REMOTO E VIRTUAL DE
RADIÇÃO DE CORPO NEGRO**

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do Grau de Licenciado em Física, e aprovado na sua forma final pela Universidade Estadual de Maringá.

Data: 29/04/2022

Nota: 9,0

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes – UEM

Breno Ferraz de Oliveira – UEM

Fernando Carlos Messias Freire – UEM

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe Zilda, por todo amor e dedicação, pois sem seu incentivo minha jornada acadêmica não seria concluída.

Agradeço à minha esposa, Talita, por toda paciência e compreensão durante a realização deste trabalho.

Ao pequeno Tony, pela companhia nas longas noites de estudo e por me alegrar todos os dias.

Agradeço ao professor Jurandir, por todos os ensinamentos em laboratório.

Ao professor Gardelli, por em um momento de dificuldade me ouvir, aconselhar e não me deixar desistir.

Aos colegas que me acompanharam durante a graduação.

Ao professor Paulo Ricardo pela orientação, suporte e inspiração do projeto.

Aos membros da banca pela disponibilidade em avaliar meu trabalho.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação, minha sincera gratidão.

RESUMO

Durante a formação de um aluno no ensino básico, a máxima ouvida é como as matérias de exatas são totalmente abstratas, difíceis e não-intuitivas, principalmente no campo da Física Moderna. Pensando nisto, a introdução de cada vez mais atividades experimentais se mostra muito conveniente, uma vez que, favorece uma maior contextualização e, por consequência, compreensão dos conteúdos trabalhados na disciplina de Física pelo aluno. A Radiação de Corpo Negro, em especial, é de difícil assimilação, não é intuitiva e não é visível a olho nu, o que leva a uma problemática: o valor e espaço de um bom laboratório de física, aliado à dificuldade de locomoção de grandes quantidades de alunos combinados com operação de equipamentos complexos e extremamente caros de laboratório experimental. Pensando nisto e na atual situação mundial com a Pandemia de SARS-CoV-2, que limitou as aulas presenciais em aulas remotas, foram propostas neste trabalho, o desenvolvimento de duas sequências didáticas, uma utilizando um laboratório remoto e outra um laboratório virtual para o estudo da radiação de corpo negro. O experimento foi inspirado pelo Laboratório Interdisciplinar de Ciências Exatas (LICE) com acesso remoto à UEM, proposto em atendimento ao edital LIFE da CAPES, que prevê acesso remoto a experimentos nas áreas de Física, Química, Biologia, Matemática e Geografia.

Palavras-chave: Laboratório Remoto, Laboratório Virtual, Radiação Corpo Negro, Física Moderna, LICE (Laboratório Interdisciplinar de Ciências Exatas).

ABSTRACT

During the formation of a student in basic education, the maximum heard is how the exact subjects are totally abstract, difficult and non-intuitive, especially in the field of Modern Physics. With this in mind, the introduction of more and more experimental activities is very convenient, since it favors a greater contextualization and, consequently, understanding of the contents worked in the Physics discipline by the student. Blackbody Radiation, in particular, is difficult to assimilate, is not intuitive and is not visible to the naked eye, which leads to a problem: the value and space of a good physics laboratory, combined with the difficulty of locomotion of large student numbers combined with the operation of complex and extremely expensive experimental laboratory equipment. With this in mind and the current world situation with the SARS-CoV-2 Pandemic, which has limited face-to-face classes to remote classes, it was proposed in this work, the development of two didactic sequences, one using a remote laboratory and the other a virtual laboratory for the study of blackbody radiation. The experiment was inspired by the Interdisciplinary Laboratory of Exact Sciences (LICE) with remote access to the UEM, proposed in compliance with CAPES' LIFE edict, which provides remote access to experiments in the areas of Physics, Chemistry, Biology, Mathematics and Geography.

Keywords: Remote Laboratory, Virtual Laboratory, Blackbody Radiation, Modern Physics, LICE (Interdisciplinary Laboratory of Exact Sciences).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem de representação da composição de onda eletromagnética se propagando com velocidade c .	15
Figura 2: Esquema de representação do Espectro Eletromagnético.	16
Figura 3: Fotografia de um feixe de luz branca atravessando um prisma e sofrendo o efeito de dispersão.	16
Figura 4: Representação de átomo de hidrogênio com a) elétron absorvendo energia e saltando para nível de maior energia e seu respectivo espectro de absorção; e, b) elétron emitindo energia e saltando para nível de menor energia e seu respectivo espectro de emissão.	17
Figura 5: a) Espectro de absorção do Hidrogênio; e, b) Espectro de emissão do Hidrogênio.	18
Figura 6: Representação de corpo negro elaborado por Kirchhoff.	19
Figura 7: Representação de incidência de radiação em um corpo negro de Kirchhoff.	19
Figura 8: Radiância Espectral do Sol em função do comprimento de onda.	20
Figura 9: Radiância espectral de um corpo negro em função da frequência de radiação, mostrada para temperaturas de 1000°K, 1500°K e 2000°K.	22
Figura 10: Esquema de comparação de radiação de corpo negro segundo os dados experimentais e as Leis de Wien e Rayleigh-Jeans.	24
Figura 11: Comparação da curva de radiância emitida por um corpo negro pelas Leis de Wien, Rayleigh-Jeans, Planck e os dados experimentais.	26
Figura 12: Equipamento de aferição da radiação de corpo negro da marca PASCO, montado.	30
Figura 13: Intensidade de radiância espectral de um corpo negro em função da frequência de radiação, a diferentes temperaturas, analisada dentro do próprio software da PASCO.	31
Figura 14: Análise da radiação emitida pelo gás hélio dentro do próprio software da PASCO.	32
Figura 15: Experimento virtual Espectro de Corpo Negro, acessado via navegador.	33
Figura 16: Tabela Periódica dos Espectros de Emissão.	36
Figura 17: Experimento virtual de Espectro do Corpo Negro com espectro analisado a diferentes temperaturas.	39
Figura 18: Capturas de tela do experimento de Espectro do Corpo Negro, sendo a) corpo negro à temperatura de 5800 K e b) corpo negro a temperatura de 4300 K.	39
Figura 19: Captura de tela do experimento de Espectro do Corpo Negro com temperatura equivalente a uma lâmpada incandescente.	40
Figura 20: Esquema de montagem do lado com o CD.	42
Figura 20: Esquema de montagem do lado com o Corte.	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Estrutura da sequência didática com base no experimento remoto de radiação do corpo negro..... 34

Quadro 2: Estrutura da sequência didática com base no experimento virtual de radiação do corpo negro..... 38

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE QUADROS	9
Capítulo I	
INTRODUÇÃO	12
Capítulo II.	
REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 A Física Moderna no Ensino Médio	14
2.2 Espectro Eletromagnético	15
2.3 Radiação do Corpo Negro	18
2.4 Catástrofe do Ultravioleta	20
2.5 Max Planck e a Solução para a Catástrofe do Ultravioleta	24
Capítulo III.	
METODOLOGIA	28
3.1 O Laboratório Online na Sequência Didática	28
3.2 Os Experimentos de Radiação de Corpo Negro	30
3.2.1 Laboratório Remoto	30
3.2.2 Laboratório Virtual	32
3.3 Sequência Didática	33
3.3.1 Sequência Didática para Experimento em Laboratório Remoto	34
3.3.1.1 Primeiro Ciclo: Introdução Teórica	34
3.3.1.2 Segundo Ciclo: Experimento	35
3.3.1.3 Terceiro Ciclo: Avaliação do Aprendizado	37
3.3.2 Sequência Didática para Experimento em Laboratório Virtual	37
3.3.2.1 Primeiro Ciclo: Introdução Teórica	38
3.3.2.2 Segundo Ciclo: Experimento	38
3.3.2.3 Terceiro Ciclo: Avaliação do Aprendizado	40
3.4 Experimento de Baixo Custo	41
Capítulo IV	
REFLEXÕES GERAIS	44

Capítulo V

CONCLUSÕES 47

REFERÊNCIAS 49

Capítulo I

INTRODUÇÃO

Observando o atual cenário da educação básica no Brasil, em especial no ensino de ciências, é comum se deparar com métodos de ensino matematizados, repetitivos e superficiais, que vão além da falta de preparo do professor e de material didático apropriado. Em boa parte dos casos a principal carência é de um ambiente de atividade prática adequado e na forma como isto contextualiza o conhecimento prévio do aluno.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) dispostos para o ensino médio pelo Ministério da Educação e do Desporto em 1999, a educação deve ser tal que forneça aos educandos subsídios para que entendam os fenômenos que os rodeiam e sejam capazes de debater assuntos relacionados ao momento histórico-social no qual estão inseridos.

O aprendizado de Física deve estimular os jovens a acompanhar as notícias científicas, orientando-os para a identificação sobre o assunto que está sendo tratado e promovendo meios para a interpretação de seus significados. Notícias como uma missão espacial, uma possível colisão de asteroide com a terra, um novo método para extrair água do subsolo, uma nova técnica de diagnóstico médico envolvendo princípios físicos, o desenvolvimento da comunicação via satélite, a telefonia celular, são alguns exemplos de informações presentes nos jornais e programas de televisão que deveriam também ser tratados em sala de aula. (PCN, 2000, p.27)

Considerando os novos estudos e descobertas apresentadas pela comunidade científica nos últimos anos, entende-se a necessidade da instauração da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, permitindo aos educandos um nível de entendimento mais elaborado e abrangente, que permita que os mesmos sejam capazes de compreender os conceitos básicos da Física e que não sejam iludidos ou enganados com falsas concepções a respeito do tema.

Pensando nisto, o experimento pode colaborar significativamente para a compreensão de leis e fenômenos físicos, principalmente aqueles que não são detectáveis a olho nu, como é o caso da maioria dos assuntos abordados pela física moderna. O laboratório é uma importante ferramenta didática, segundo Villatorre (2009):

O laboratório ou experimento torna-se importante, como um instrumento gerador de observações e de dados para as reflexões, ampliando a argumentação dos alunos. No experimento, tem-se o objeto em que ocorre manipulação do concreto, pelo qual o aluno interage através do tato, da visão e da audição, contribuindo para as deduções e as considerações abstratas sobre o fenômeno observado.

A importância e funcionalidade dos laboratórios e aulas experimentais não é nenhuma novidade, porém, os altos custos de manutenção de laboratórios e equipamentos, aliados à falta de tempo de montagem e operação de uma aula, se tornam inviáveis, principalmente na rede

pública de ensino. É aqui que entra a importância dos laboratórios online, que se tratam de extensões diretas e indiretas dos experimentos presentes em um laboratório físico e que podem ser manipulados pela internet, através de um computador.

Várias instituições de ensino já possuem laboratórios com esta finalidade em atividade, como é o caso do Instituto Tecnológico de Massachussetts (MIT), que possui o “iLabs”, (Internet access to real labs – anywhere, anytime), a UNICAMP que possui o Laboratório de Tecnologias Educacionais (LTE), que conta com o “Laboratório Remoto” e a UFSC que possui o laboratório “relle”, entre outros.

Este trabalho de conclusão de curso, se propõe ao desenvolvimento de sequências didáticas de um experimento remoto e um virtual, no tema de Radiação de Corpo Negro, o qual poderá ser acessado através de uma interface pré-programada, ou navegador, que tem como objetivos principais:

- Apresentar uma solução viável para aplicações de atividades experimentais de Física Moderna nas escolas públicas;
- Proporcionar uma discussão mais elaborada a respeito do experimento de Radiação de Corpo Negro através da prática;
- Criar a possibilidade de aplicação do experimento remoto em cursos EAD.

Capítulo II

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Física Moderna no Ensino Médio

A disciplina de Física no ensino médio hoje, em geral, costuma chegar ao aluno de maneira descontextualizada e sem nenhuma aplicação prática, tendo apenas um tratamento matemático a grosso modo. A realidade tecnológica em que vivemos hoje, nos aponta que necessitamos de uma mudança considerável na forma como os assuntos são abordados em sala, além de como eles são contextualizados, uma vez que, como podemos ver através da história da ciência, uma teoria não é elaborada apenas de um “insight”, ou de uma teoria já pronta e acabada. O conhecimento vem se construindo através de vários anos e diversos pensadores, cada um contribuindo com seu trabalho, para que se chegue a uma teoria final. Toda esta construção do conhecimento é importante para que o aluno também seja capaz de fazer suas próprias conclusões e indagações a respeito do conteúdo.

Todos os avanços e conquistas atingidas hoje pela humanidade existem devido a necessidades que a sociedade um dia teve e da quantidade de esforços empregados em sua solução. Um grande exemplo disto é a internet, que durante a Guerra Fria surgiu como uma forma de comunicação privada e uma forma de assegurar que caso algum dos pontos de comunicação fosse alvo de bombardeio, a informação não seria completamente perdida.

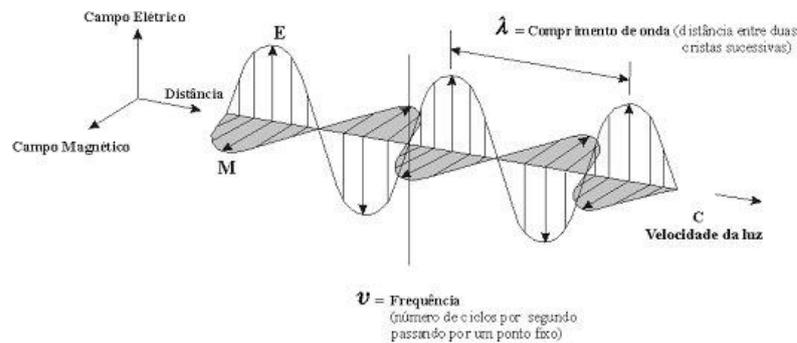
As pesquisas realizadas por Sanches (2006) apontam que o ensino de Física é baseado apenas na Física Clássica, divididas em blocos como: Mecânica, Termologia, Ótica, Ondulatória e Eletricidade, deixando de lado todas as contribuições do século XX, por vários motivos, como falta de materiais didáticos adequados, carga horária incompatível e o preparo deficiente do educador perante o conteúdo.

É inegável que vivemos em uma era digital, em que podemos acessar informações de qualquer parte do mundo através de uma conexão com a internet e foi pensando nisto que este projeto foi desenvolvido, ele traz a possibilidade de um aluno em um laboratório de informática ter acesso a um laboratório de física moderna real presente na Universidade Estadual de Maringá, ou ainda a um laboratório virtual acessado pelo navegador.

2.2 Espectro Eletromagnético

As Radiações Eletromagnéticas são, segundo Nussenzveig (2002), uma combinação de campo elétrico com campo magnético, que se geram mutuamente e obedecem ao princípio da superposição, se propagando perpendicularmente um em relação ao outro e na direção da propagação da energia, podendo se propagar no vácuo, como pode ser visto na representação da Figura 1:

Figura 1: Imagem de representação da composição de onda eletromagnética se propagando com velocidade c .

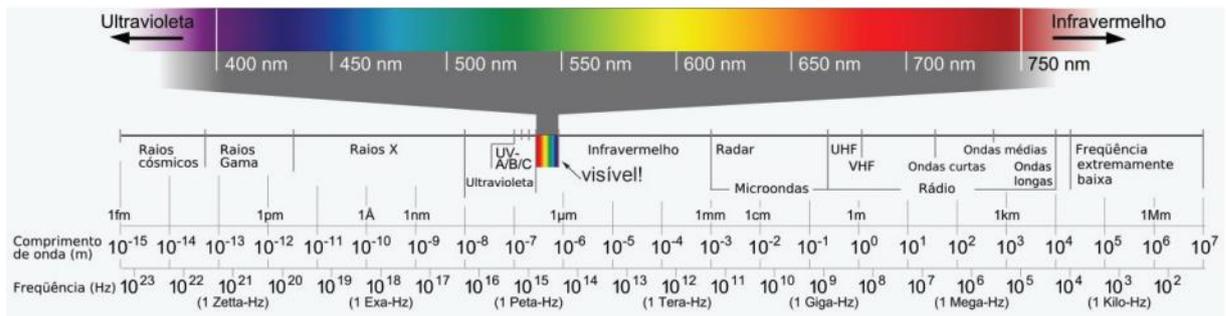


Fonte: <http://www.guia.heu.nom.br/ondas.htm>. (Acesso em: 10/03/2022).

A luz visível é o exemplo mais comum de radiação eletromagnética, podendo ser perceptível aos olhos humanos, este modelo de radiação, foi proposto inicialmente pelo físico e matemático escocês, James Clerck Maxwell.

O chamado Espectro Eletromagnético é o intervalo de todas as frequências de ondas eletromagnéticas existentes, que vai desde as ondas de rádio, de menores frequências, até as ondas de radiação gama, de maiores frequências, como pode ser observado no esquema da Figura 2:

Figura 2: Esquema de representação do Espectro Eletromagnético.



Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num2/a06.pdf>. (Acesso em: 01/03/2022).

A frequência das ondas eletromagnéticas, diz respeito ao número de oscilações completas que seu campo elétrico realiza por segundo, sendo que ondas com frequências mais altas carregam mais energia. Um ponto importante a ser observado, é que o chamado espectro da luz visível, apresentado na Figura 2, diz respeito apenas ao espectro captado pela visão humana, alguns répteis são capazes de enxergar no infra-vermelho, enquanto algumas espécies de águia conseguem enxergar no espectro do ultravioleta, sendo capazes de detectar a urina de pequenos roedores à distância.

Quando uma radiação eletromagnética, passa de um meio para outro, com índices de refração diferentes, a velocidade do feixe é alterada, podendo sofrer uma leve inclinação em sua direção de propagação. Esta inclinação de ser maior quanto maior for sua frequência de oscilação, como podemos ver no caso de um feixe de que atravessa um prisma na Figura 3:

Figura 3: Fotografia de um feixe de luz branca atravessando um prisma e sofrendo o efeito de dispersão.

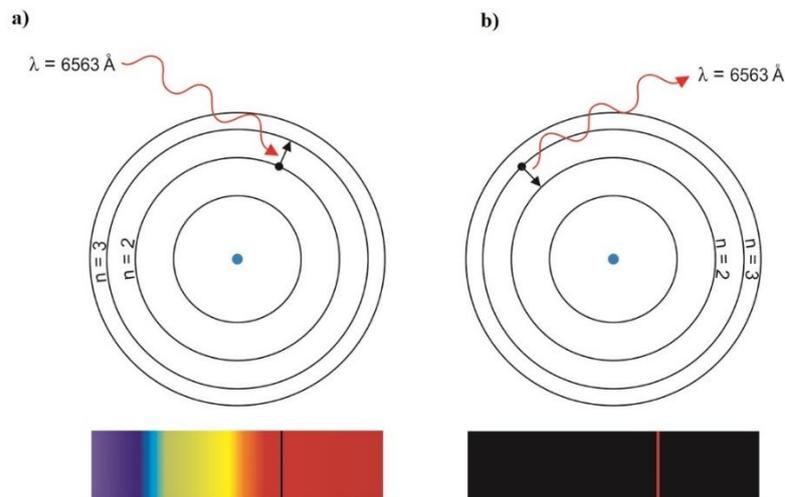


Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>. (Acesso em: 01/03/2022).

Este fenômeno é conhecido como dispersão e ocorre com radiações de todo o Espectro Eletromagnético, tendo sido inicialmente estudada pelo físico e matemático inglês, Isaac Newton, através de feixes de luz branca.

Através da dispersão podemos estudar a formação de linhas espectrais, que são formadas quando o elétron ganha ou perde energia, “saltando” de um nível para outro, de maior ou menor energia, ou seja, quando o elétron absorve radiação, ele salta para um nível de maior energia e produz uma linha de absorção, já quando o elétron emite radiação, ele salta para um nível de menor energia e produz uma linha de emissão, como pode ser observado na Figura 4:

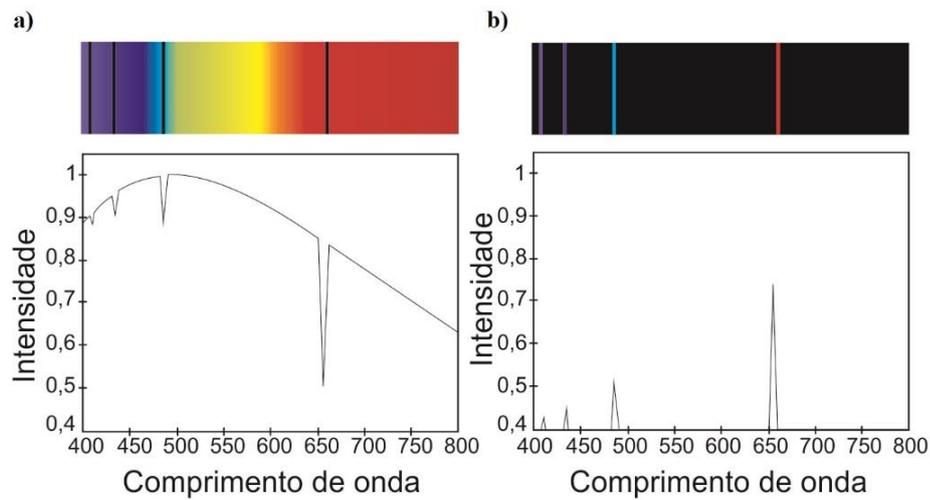
Figura 4: Representação de átomo de hidrogênio com a) elétron absorvendo energia e saltando para nível de maior energia e seu respectivo espectro de absorção; e, b) elétron emitindo energia e saltando para nível de menor energia e seu respectivo espectro de emissão.



Fonte: Adaptado de http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm. (Acesso em: 05/03/2022).

Além disso, os raios de emissão e absorção são complementares, como pode ser visto na Figura 5:

Figura 5: a) Espectro de absorção do Hidrogênio; e, b) Espectro de emissão do Hidrogênio.



Fonte: Adaptado de http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/aula_espec.htm. (Acesso em: 05/03/2022).

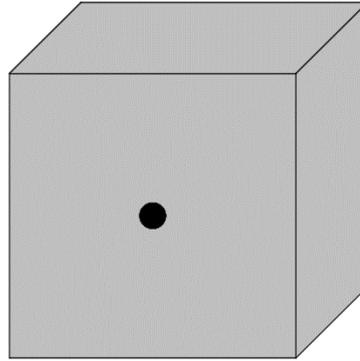
2.3 Radiação do Corpo Negro

Instintivamente, quando se ouve falar em radiação de corpo negro pela primeira vez, é comum que se imagine um objeto escuro, que emite radiação, levando em consideração o nome adotado do fenômeno. Portanto, o que deve ficar explícito quando se fala em radiação de corpo negro é que todo corpo ao ser aquecido libera energia na forma de radiação eletromagnética e esta energia é diretamente proporcional à temperatura do objeto. Segundo Valadares (1998), Corpo Negro é todo corpo que absorve radiação, independente da frequência incidida sobre ele, e que suas propriedades de absorção estão relacionadas com o formato e acabamento da superfície e do material que ele é feito, por exemplo, um corpo de coloração superficial mais escura absorve mais energia devido a sua absorção de energia em uma gama de comprimentos de onda maior, e materiais metálicos tem uma capacidade de emissão maior, uma vez que possuem uma melhor condução térmica do que materiais como madeira ou plástico.

Em 1859, o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff, levando em consideração as Leis da Termodinâmica, formula uma lei que relaciona a emissão e absorção de radiação por corpos em geral anunciando importantes resultados (KUHN, 1978). Kirchhoff elaborou um modelo representativo que viria a demonstrar importantes propriedades a respeito da emissividade de radiação desse tipo de corpo.

Este modelo se baseia em um objeto cúbico e oco com apenas uma abertura em uma de suas faces, como pode ser visto na representação da Figura 6:

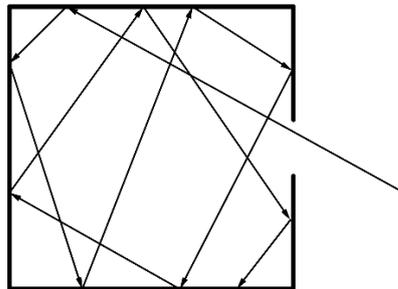
Figura 6: Representação de corpo negro elaborado por Kirchhoff.



Fonte: Autoria própria (2022).

À medida que uma quantidade de radiação atinge o cubo, parte dela acaba entrando pelo orifício e começa a ser refletida pelas paredes internas do objeto. Considerando o pequeno tamanho do orifício, a quantidade de radiação que vem a escapar pelo mesmo é mínima; e, sendo as paredes do cubo isolantes, não existirá troca de energia com o ambiente por condução, como pode ser observado na representação da Figura 7:

Figura 7: Representação de incidência de radiação em um corpo negro de Kirchhoff.

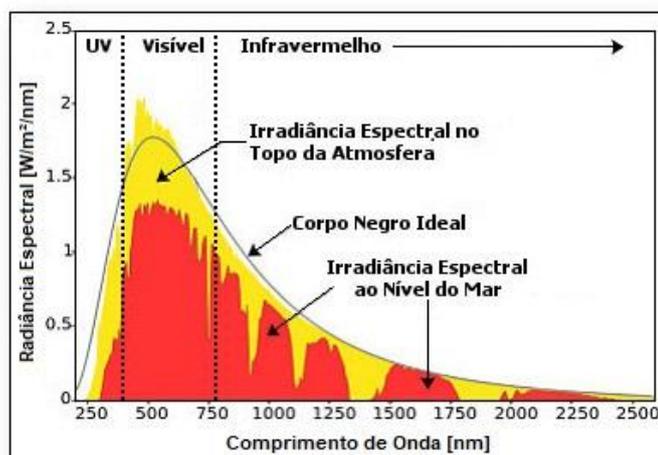


Fonte: Autoria própria (2022).

Desta forma, pode-se concluir que ao aquecer este cubo, existiria, através do pequeno orifício uma liberação de radiação, sendo a intensidade desta liberação diretamente proporcional à temperatura do cubo. Neste ponto é importante observar que esta emissão vale apenas para frequências baixas, presentes no infravermelho, com comprimentos de onda entre 700nm e 500nm, não sendo visíveis a olho nu (NUSSENZVEIG, 2002). Com isto, Kirchhoff demonstrou que a emissão de radiação independe do material com que ele é feito, mas sim de sua temperatura, concluindo assim, que se um determinado corpo absorve mais radiação do que ele emite, sua temperatura aumenta, se este corpo emite mais do que absorve, sua temperatura diminui, se este corpo absorve e emite radiação na mesma intensidade dizemos que ele está em equilíbrio com o meio. Os corpos absorvedores ideais em equilíbrio com o meio, são

denominados por Kirchoff como corpos negros, os maiores exemplos destes são as estrelas, assim como o Sol, o qual seu espectro pode ser visto na Figura 8:

Figura 8: Radiância Espectral do Sol em função do comprimento de onda.



Fonte: http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html. (Acesso em: 06/03/2022).

Foi na tentativa de entender as radiações térmicas que Kirchoff introduziu o conceito de corpo negro, pois os corpos que possuem coloração escura apresentam grande capacidade de absorção das radiações incidentes sobre eles, que explica porque roupas pretas esquentam tanto sob a luz do sol.

2.4 Catástrofe do Ultravioleta

No século XIX, os físicos estavam motivados a estudar as propriedades da radiação dos corpos incandescentes para resolver o problema da iluminação das cidades europeias que era à base de gás e energia elétrica. Os pesquisadores buscavam um material que pudesse fornecer uma grande intensidade luminosa a uma baixa temperatura, para diminuir os efeitos da resistência. Foi neste contexto que os estudiosos se viram em um grande impasse, as previsões teóricas em nada coincidiam com os resultados experimentais. A busca para solucionar esse problema, inexplicável com as teorias vigentes da época, são consideradas como o marco inicial da Física Quântica, que veio como uma forma de explicar a quantização de energia.

Segundo Perez (2016, p. 17), em 1879, Josef Stefan, um físico e matemático austro-esloveno, com base nos estudos de Kirchoff e Tyndall sobre o aquecimento de um fio de platina, observou que seu resfriamento ou perda térmica por unidade de área era proporcional a quarta potência de sua temperatura absoluta, enunciando o seguinte: A potência irradiada por

unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura, que pode ser representada na equação abaixo conhecida como Lei de Stefan:

$$I = \frac{P}{A} = \sigma T^4 \quad (1)$$

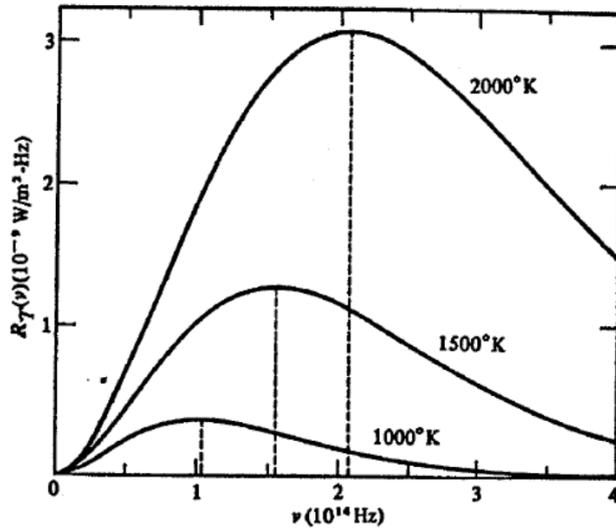
Onde I corresponde à intensidade luminosa, P corresponde à potência total irradiada, T corresponde à temperatura absoluta e σ corresponde à chamada de constante de Stefan, cujo valor é $5,670367 \cdot 10^{-8} \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \text{K}^{-1}$. A equação acima é aplicada a corpos negros cuja emissividade $\epsilon = 1$, chamados de corpos negros ideais.

Segundo Dahmen (2006), Ludwig Eduard Boltzmann, ex-aluno de Josef Stefan, unindo os estudos de Maxwell sobre eletromagnetismo e seus estudos sobre termodinâmica, conseguiu unificar a teoria de seu ex-professor de corpos negros ideais com os corpos classificados como não-ideais, conciliando teoria com experimentos. O que resultou na hoje conhecida como Equação de Stefan-Boltzmann, que se aplica para corpos com emissividade $0 < \epsilon < 1$, que pode ser representada como na equação abaixo:

$$I = \epsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Em 1893, Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien, um físico alemão, observou o fenômeno hoje conhecido como Lei de Deslocamento de Wien, que demonstra como os corpos negros emitem radiação em função de sua temperatura. Assim como aponta Longair (1986), Wien mostra que o comprimento de onda da radiação é “deslocado” conforme a temperatura da cavidade é alterada, o que é perfeitamente observado na prática, como pode se observar na Figura 9:

Figura 9: Radiância espectral de um corpo negro em função da frequência de radiação, mostrada para temperaturas de 1000°K, 1500°K e 2000°K.



Fonte: (EISBERG; RESNICK, 1994)

Como pode ser observado, para cada temperatura, o corpo possui um pico de radiação, ao passo que, quanto maior o comprimento de onda, menor é sua intensidade luminosa. Portanto, à medida que a temperatura aumenta, toda a curva sofre um deslocamento para comprimentos de onda menores. A Lei de Deslocamento de Wien pode ser enunciada da seguinte maneira: O comprimento de onda máximo irradiado por um corpo negro é inversamente proporcional a sua temperatura, podendo ser representada como na equação abaixo:

$$\lambda_{m\acute{a}x}T = b \quad (3)$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ corresponde ao comprimento máximo de radiação do corpo negro, T corresponde à temperatura absoluta e b corresponde à chamada constante de dispersão de Wien, cujo valor é $2,8977685 \cdot 10^{-3} m \cdot K$.

Com esta simples relação matemática, é possível determinar a temperatura de um corpo sabendo apenas o comprimento de onda de máxima intensidade, este é o princípio de funcionamento por exemplo de um termômetro infravermelho.

De acordo com Studart (2000, p. 529), em 1900, o matemático e físico inglês John William Strutt, também conhecido como 3º Barão de Rayleigh, apresentou um método diferente para calcular a densidade de radiação de um corpo negro em função da temperatura, associando

a radiação em equilíbrio com ondas estacionárias e os estudos de Maxwell-Boltzmann sobre equipartição de energia.

O método de Rayleigh consistia em calcular o número de ondas estacionárias, ou seja, a distribuição de modos eletromagnéticos permitidos com frequência no intervalo entre ν e $\nu + d\nu$, $\rho(\nu)d\nu$, dentro da cavidade, que pode ser representada como na equação abaixo:

$$\frac{1}{V} \frac{du}{d\nu} = \text{constante} \cdot T\nu^2 \quad (4)$$

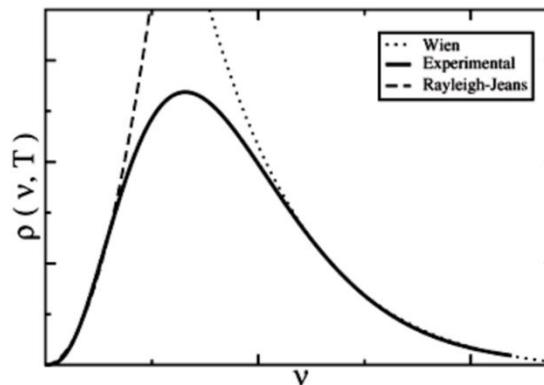
Onde V corresponde ao volume da cavidade, ν corresponde à frequência das ondas estacionárias, $\frac{1}{V} \frac{du}{d\nu}$ corresponde à densidade de energia, T corresponde à temperatura absoluta e a “constante” ainda não havia sido estabelecida. Foi somente em 1905 que James Hopwood Jeans, um físico, astrônomo e matemático inglês, introduziu um fator de 8, que Rayleigh não havia encontrado, passando assim esta relação ser chamada de Lei de Rayleigh-Jeans, podendo ser representada como na equação abaixo:

$$\frac{1}{V} \frac{du}{d\nu} = 8\pi \frac{k_B}{c^3} T\nu^2 \quad (5)$$

Onde k_B corresponde à constante de Boltzmann e c corresponde à velocidade da luz. As descobertas de Wien e Rayleigh foram imprescindíveis para o avanço da compreensão do corpo negro, porém, os dados experimentais ainda divergiam consideravelmente de suas equações teóricas. A aproximação de Wien concordava apenas para baixos comprimentos de onda e altas frequências, enquanto a de Rayleigh concordava apenas para altos comprimentos de onda e baixas frequências.

Representação esquemática da forma da curva experimental para a densidade de energia da radiação do corpo negro $\rho(\nu, t)$ para um T fixo e as respectivas aproximações de Wien para altas frequências e Rayleigh-Jeans para baixas frequências, como pode ser observado na representação esquemática na Figura 10:

Figura 10: Esquema de comparação de radiação de corpo negro segundo os dados experimentais e as Leis de Wien e Rayleigh-Jeans.



Fonte: Adaptado de (EISBERG; RESNICK, 1994).

Wien conseguiu empiricamente equacionar uma proporcionalidade entre a frequência e temperatura, quando o corpo emite uma radiação de intensidade máxima a altas frequências (2) e Rayleigh-Jeans para baixas frequências (5), apesar de algumas discrepâncias, porém quando se aproxima das frequências no espectro do ultravioleta, ambas divergem para o infinito, como descreve Eisberg e Resnick (1994, p.31):

A discrepância é evidente. No limite de baixas frequências, o espectro clássico se aproxima dos resultados experimentais, mas, à medida que a frequência cresce, a previsão teórica vai a infinito. A experiência nos mostra que a densidade de energia sempre permanece finita, como é óbvio que deveria permanecer; na realidade, a densidade de energia vai a zero para frequências muito altas. O comportamento grosseiramente não realista da previsão da teoria clássica para altas frequências é conhecido na física como a “catástrofe do ultravioleta”. O termo sugere e enfatiza a não validade da teoria clássica nesta região.

A Catástrofe do Ultravioleta, só veio a ser solucionado com a teoria de quantização de Max Planck, como pode ser visto no item a seguir.

2.5 Max Planck e a Solução para a Catástrofe do Ultravioleta

Em busca da solução deste problema, o físico alemão, Max Karl Ernst Ludwig Planck, considerado o pai da Física Quântica, baseando-se no modelo de corpo negro descrito por Kirchhoff, associou a oscilação dos átomos que constituíam a parede do recipiente com osciladores harmônicos, como foi descrito por Halliday; Resnick e Krane (2004, p. 146):

Ele também supôs que estes osciladores não poderiam oscilar com qualquer energia arbitrária, mas apenas com energias que fossem múltiplas inteiras de $h\nu$, onde ν é a frequência de radiação que estes osciladores absorvem e emitem à medida que interagem com a radiação existente na cavidade.

Esta quantização de energia que Planck introduziu, diferiu sua teoria da Física Clássica, que afirmava que os elétrons podiam oscilar a qualquer valor de energia entre zero e um valor máximo, o que acabava tendendo a infinito no espectro do ultravioleta. Segundo ele, a energia adquirida por cada elétron deveria variar em quantidades múltiplas e que esta energia dependeria apenas da frequência de oscilação das moléculas. A dependência da quantidade de energia em função da sua frequência pode ser representada como na equação abaixo:

$$E = h\nu \quad (6)$$

Onde E corresponde à quantidade de energia do elétron, h corresponde à constante de Planck, cujo valor é $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ e ν corresponde à frequência de oscilação.

Assim foi introduzido o conceito de “quantum” de energia, inferindo que os osciladores não irradiam a energia de forma contínua, mas sim por “pacotes” de energia denominados quanta. Neste contexto, a solução encontrada por Planck para a Catástrofe do Ultravioleta foi substituir na fórmula de Rayleigh-Jeans a energia média clássica correspondente a cada modo do campo, $k_B T$, por uma nova expressão, como pode ser representado na equação abaixo:

$$k_B T = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} = \frac{E_\lambda}{e^{\frac{E_\lambda}{k_B T}} - 1} \quad (7)$$

Onde $\frac{hc}{\lambda}$ corresponde à quantidade de energia discreta apresentada por cada modo de oscilação. Em 1900, Planck deu início ao que hoje é conhecido como Física Quântica, ele conseguiu ajustar uma equação que expressasse os dados experimentais da distribuição espectral da radiação, que pode ser representada de forma mais completa como na equação abaixo:

$$R(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (8)$$

Onde R corresponde à radiância espectral, h corresponde à constante de Planck, c corresponde à velocidade da luz, λ corresponde ao comprimento de onda, e corresponde ao número de Euler, k_B corresponde à constante de Boltzmann e T corresponde à temperatura do corpo negro.

O comprimento de onda pode ser relacionado com a sua frequência como pode ser observado na representação abaixo:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (9)$$

A lei de Planck pode ser escrita para a densidade espectral ficando da seguinte forma:

$$u = \frac{8\lambda h\nu^3}{c^3} \left\{ e^{\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right)} - 1 \right\}^{-1} \quad (10)$$

Ou,

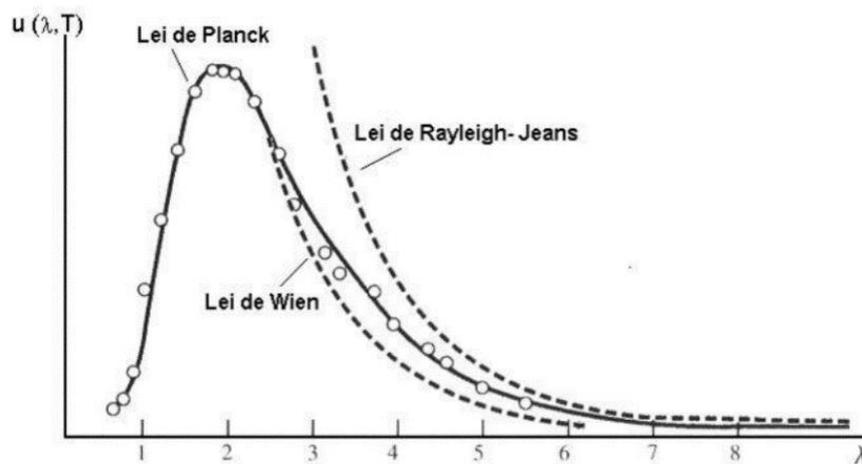
$$\rho(\nu) = \frac{N\nu}{V} U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} = \frac{8\pi h}{c^3} \cdot \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} \quad (11)$$

Ou ainda, em função do comprimento de onda:

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (12)$$

A Figura 11 mostra uma representação do gráfico que compara as Leis de Wien, Rayleigh-Jeans e Planck:

Figura 11: Comparação da curva de radiância emitida por um corpo negro pelas Leis de Wien, Rayleigh-Jeans, Planck e os dados experimentais.



Fonte: Adaptado de (EISBERG; RESNICK, 1994).

Como pode ser observado, as Leis de Wien e Rayleigh (linhas pontilhadas) divergem consideravelmente dos dados experimentais na maioria das projeções, enquanto a Lei de Planck (pequenos círculos), ajusta-se satisfatoriamente aos dados experimentais (linha contínua).

Capítulo III

METODOLOGIA

3.1 O Uso do Laboratório Online

Um dos maiores fatores que promovem o distanciamento entre teoria e experimentação dentro do âmbito escolar é a falta de espaço físico para um bom laboratório e a falta de materiais e experimentos para compô-lo, uma vez que, sem esta estrutura básica e uma boa formação do docente se torna impossível desenvolver atividades metodológicas que forneçam um aprendizado significativo para o aluno.

Para Ausubel (1990), na construção do conhecimento, o mais importante é o que o indivíduo já sabe, ou seja, sua estrutura cognitiva, uma vez que ela contém tudo o que o indivíduo aprendeu de maneira significativa, o que auxiliará na assimilação de conteúdos novos. O que o aluno já sabe interage com o conteúdo a ser aprendido, causando assim uma aprendizagem significativa, como aponta Moreira (2009):

O conceito central da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa, um processo através do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-literal) e não-arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de “conceito subsunçor” ou, simplesmente “subsunçor”, existente na estrutura cognitiva de quem aprende [...] Ausubel vê o armazenamento de informações na mente humana como sendo altamente organizado, formando uma espécie de hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados por) a conceitos, ideias, proposições mais gerais e inclusivos. Esta organização decorre, em parte, da interação que caracteriza a aprendizagem significativa.

Portanto, a inclusão de atividades práticas como experimentos são imprescindíveis para que o aluno os relacione com a teoria, tornando muito mais simples o entendimento do conteúdo e do armazenamento de suas informações.

Em contrapartida, o valor extremamente alto de equipamentos de laboratório, de Física Moderna, aumentam ainda mais a dificuldade de um colégio, principalmente público, de manter um laboratório deste gênero com uma boa qualidade. A técnica, conhecida como Laboratório Online, já é aplicada em universidades de vários países, como já foi discutido na introdução deste trabalho, e tem mostrado resultados promissores na aplicação de laboratórios em todas as áreas da Ciência, como aponta Silva (2006):

Até alguns anos as práticas estavam limitadas a laboratórios clássicos, onde os custos de manutenção e aquisição de novos instrumentos podiam chegar a ser tão elevados tornando-se proibitivos para muitas instituições. Além disso, ao utilizar um

laboratório presencial o número de alunos que podem acessar a este laboratório e os horários de práticas ficam bastante restritos.

Além disso, atualmente é reconhecido como competência utilizar com desenvoltura tecnologias digitais, principalmente as que se referem a informação e comunicação, consequência da presença indissociável destas em nossas vidas, conforme discorre Antunes de Sá (2018):

Hoje temos uma “nova” plataforma tecnológica que condiciona (não determina) os processos de produção, distribuição e consumo dos bens culturais, das mercadorias etc. Os processos comunicacionais se dão estritamente pela rede mundial de computadores, mais conhecida como internet. A convergência das mídias possibilitada pela tecnologia digital vem revolucionando a maneira como os cibercidadãos lidam com as informações, com o conhecimento etc.

Porém, desde os primórdios, a escola resiste a transformações, sejam sociais, políticas, econômicas e também no que tange às tecnologias. A mudança de paradigmas nas concepções de ensino é uma tarefa muito difícil, são necessários diversos momentos de reflexão por parte dos docentes, em conjunto, para reavaliar e alterar o que tem sido empregado nas salas de aula, para que estas plataformas de ensino tecnológicas sejam mais empregadas na prática e que tenham consequências positivas no aprendizado significativo dos alunos, assim como explicita a Base Nacional Comum Curricular (BNCC):

No processo de incorporação das tecnologias na escola, aprende-se a lidar com a diversidade, a abrangência e a rapidez de acesso às informações, bem como com novas possibilidades de comunicação e interação, o que propicia novas formas de aprender, ensinar e produzir conhecimento, que se sabe incompleto, provisório e complexo (BNCC, 1997).

Uma alternativa de trabalhar com esta prática é através da elaboração de sequências didáticas que, segundo Zabala (2011, p.18), é “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim, conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”. A sequência didática proposta por Zabala é coerente com o caráter investigativo de ensino, visto que a construção, significado e consolidação dos conceitos científicos são dados pela problematização, hipóteses, coleta de dados e sistematização. Esta é uma tendência dentro da área do ensino de Ciências, no que é denominada de Sequências Didáticas Investigativas (GIORDAN; GUIMARÃES; MASSI, 2012).

Segundo Silva (2006), os laboratórios online podem ser divididos em dois grupos principais: os laboratórios compostos por equipamentos de hardware reais (laboratório remoto); e, as simulações de software (laboratórios virtuais).

Os Laboratórios Remotos são constituídos de experimentos reais, controlados remotamente por um usuário geograficamente distante deles, por uma interface que pode ser um computador (ou outro sistema) através da internet.

Os Laboratórios Virtuais são simuladores que apresentam o modo operacional de equipamentos e mecanismos de um laboratório, além de elementos de rede, de hardware e de aplicações de software para simular processos, instrumentação e elementos de medidas, podendo ser acessados através de um software pré-programado no computador ou através de um navegador online.

3.2 Os Experimentos de Radiação de Corpo Negro

3.2.1 Laboratório Remoto

O experimento de Radiação de Corpo Negro presente na Universidade Estadual de Maringá – UEM, é composto pelo Educational Spectrophotometer Accessory System, Modelo OS-8539, que se trata do Sistema Espectrofotômetro Educacional, e pelo Prism Spectrophotometer Kit – Black Body Experiment, modelo OS-8544, que se trata do Kit de Prisma Espectrofotômetro – Experiência Corpo Negro, ambos da marca PASCO (PASCO Scientific, 10101, Foothills Blvd., Roseville, CA, 95747, USA).

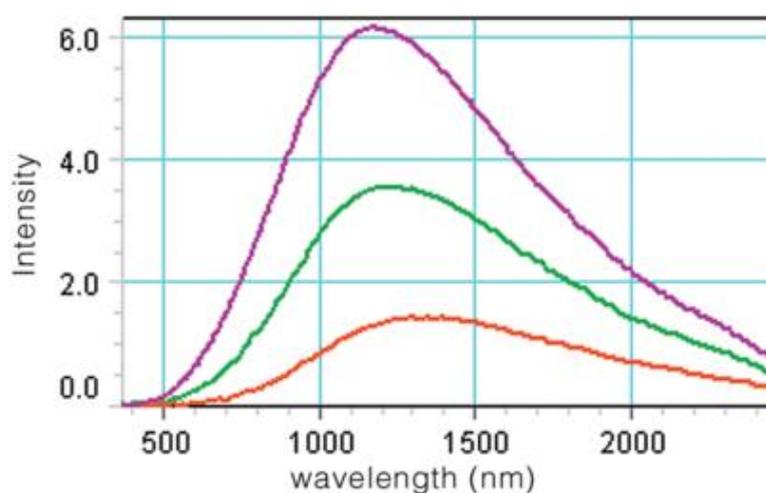
Figura 12: Equipamento de aferição da radiação de corpo negro da marca PASCO, montado.



Fonte: <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/light-and-optics/spectrometers/os-8539>. (Acesso em: 17/02/2022).

Através de uma conexão pelo software da TeamViewer (TeamViewer US, Inc. 5741 Rio Vista Drive Clearwater, FL 33760 USA), a tela do computador “hosteado” pode ser compartilhada e o mesmo seja controlado por um segundo aparelho. Estando o computador em que está conectado o equipamento do experimento e uma WebCam, utilizada para o usuário monitorar o desenvolvimento do experimento, conectado com o computador em sala de aula ou laboratório de informática, podemos, dentro do próprio software do sistema PASCO, tomar dados muito interessantes para o estudo do corpo negro como, por exemplo, a Lei de Deslocamento de Wien, como pode ser observado na Figura 13:

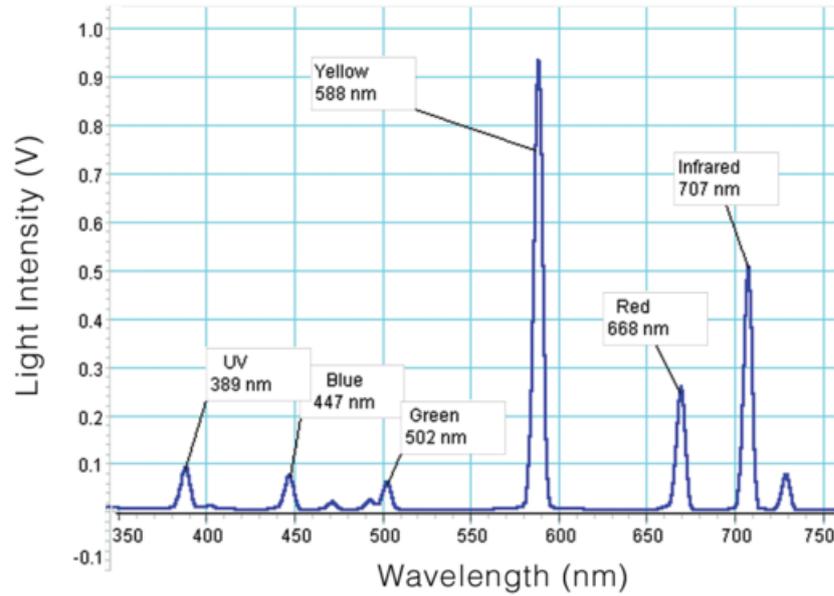
Figura 13: Intensidade de radiação espectral de um corpo negro em função da frequência de radiação, a diferentes temperaturas, analisada dentro do próprio software da PASCO.



Fonte: Adaptado de <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/light-and-optics/spectrometers/os-8544>.
(Acesso em: 17/02/2022).

Ou ainda, a análise de picos de emissão, conhecidos como raias espectrais de elementos como o gás hélio, como pode ser visto na Figura 14:

Figura 14: Análise da radiação emitida pelo gás hélio dentro do próprio software da PASCO.

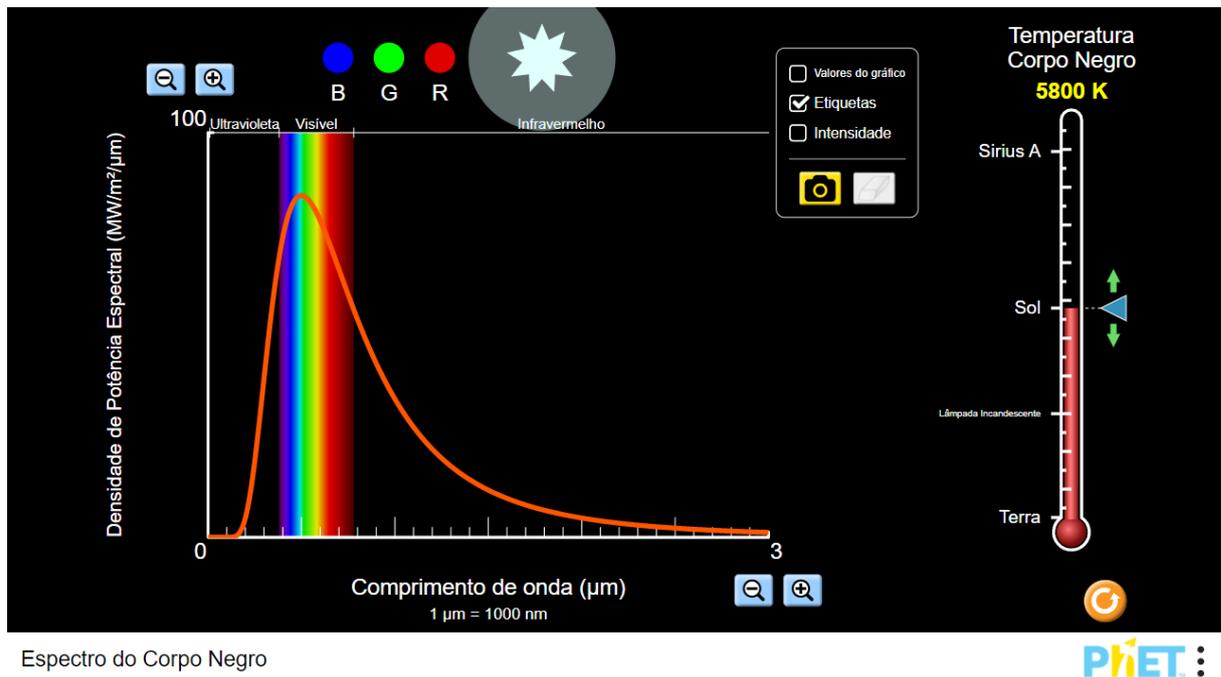


Fonte: Adaptado de <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/light-and-optics/spectrometers/os-8539>.
(Acesso em: 17/02/2022).

3.2.2 Laboratório Virtual

A Universidade do Colorado em Boulder (University of Colorado 1800 Grant St. Ste. 745 Denver, CO 80203-1187) possui a iniciativa chamada PhET Interactive Simulations (PhET Interactive Simulations University of Colorado Boulder), que por sua vez possui a simulação Espectro do Corpo Negro, o qual permite que o usuário, através de uma escala, escolha diferentes temperaturas de um corpo negro, sendo possível observar sua mudança de curva de Densidade de Potência Espectral e a cor que o mesmo emite em seu pico de radiação. A maior vantagem deste programa é que ele pode ser aberto pelo navegador do computador ou celular, e possui uma interface intuitiva, como pode ser visto na Figura 15:

Figura 15: Experimento virtual Espectro de Corpo Negro, acessado via navegador.



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt.html. (Acesso em: 23/02/2022).

3.3 Sequência Didática

De acordo com o que foi visto no item acima e em atendimento ao edital LIFE da CAPES, que prevê acesso remoto a experimentos na área de exatas, este trabalho visa desenvolver uma sequência didática que servirá para encurtar a distância entre o aluno e um laboratório de alta qualidade, como o presente em uma universidade, tudo isto através de um computador conectado a uma rede de internet.

Com base nisto, é importante desenvolver uma atividade educacional que tenha como centro o aprendiz, considerando sempre toda a bagagem conceitual e de aprendizado que ele já possua. Um dos maiores problemas observados a respeito do método tradicional de ensino, é que este, trata os conteúdos de forma acabada, não oportunizando a formulação de conceitos e conclusões por parte dos alunos independentemente. A maioria dos modelos de ensino abordados pelos educadores, tem influencias de sua própria formação, conforme argumenta Batista (2006):

Esse tipo de ensino comumente reproduzido nas escolas tem uma ligação direta com a formação inicial desse professor e principalmente com suas experiências vividas ao longo de sua vida escolar, o que compõe o que já chamamos de saberes docentes.

Pensando nisto, o educador deve preparar uma sequência didática, tendo sempre em mente o objetivo desse material e o que se espera que os alunos saibam no final dessa aplicação. O que reforça a necessidade do estudo das teorias de aprendizagem, para que as novas concepções de ensino sejam também repassadas aos futuros educadores.

Neste trabalho serão apresentadas duas sequências didáticas, uma utilizando o Laboratório Remoto e outra utilizando o Laboratório Virtual, sendo ambas divididas em ciclos pedagógicos.

3.3.1 Sequência Didática para Experimento em Laboratório Remoto

O Quadro 1 abaixo, mostra um esboço da estrutura com os objetivos da sequência didática para o Laboratório Remoto:

Quadro 1: Estrutura da sequência didática com base no experimento remoto de radiação do corpo negro.

COMPONENTE CURRICULAR: Física	SÉRIE: 3º Ano do Ensino Médio
TEMA: Física Moderna	UNIDADE TEMÁTICA: Radiação de Corpo Negro
TÍTULO: Experimento Remoto de Radiação de Corpo Negro	Nº DE AULAS PREVISTAS: De 3 a 6
OBJETO DO CONHECIMENTO: Estudo do Fenômeno de Radiação de Corpo Negro e suas Propriedades	
HABILIDADES NA BNCC: (EM13CNT102): Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos. (EM13CNT205): Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.	
PRÉ-REQUISITOS: Conhecimento prévio sobre propagação de calor, radiação, ondulatória e análise de gráficos.	
OBJETIVOS: - Promover uma discussão a respeito do que é radiação, apontando suas formas de emissão e absorção; - Compreender o que é um corpo negro e seu mecanismo de absorção de energia; - Relacionar absorção de energia através de radiação com aumento de temperatura; - Discutir fenômenos relacionados à radiação de corpo negro e sua aplicabilidade no cotidiano; - Desenvolver habilidades de interpretação de gráfico e dados; - Incentivar o trabalho em grupo e colaborativo.	

Fonte: Autoria Própria (2022).

3.3.1.1 Primeiro Ciclo: Introdução Teórica

Neste ciclo, o foco principal é a contextualização histórico-social a respeito da radiação de corpo negro e como ela começou a ser discutida, instigando os alunos com questionamentos sobre radiação, ondulatória, espectro eletromagnético, até chegar ao primeiro modelo de Kirchhoff, Figura 6, para o corpo negro e encerrar com a teoria de Quantização de energia de

Planck. É imprescindível que o professor promova a discussão entre os alunos de forma oral, debatendo as noções acerca do conhecimento prévio de cada aluno, focando neste momento principalmente na análise qualitativa da discussão.

Para isto, questões simples como “O que é radiação?”, “O que são ondas?”, “Quais são as diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas?”, “A luz é uma radiação?”, “Porque roupas escuras esquentam mais à luz do Sol?”, “Todos os animais enxergam o mesmo espectro?”, entre outras, são muito importantes para que o professor possa pontuar os conhecimentos prévios e desenvolver explicações do conteúdo a partir do conhecimento prévio dos alunos, podendo acentuar a explicação acerca dos conteúdos que os alunos apresentarem menor afinidade.

Feito isto, o professor pode apresentar, os conceitos de absorção e emissão de radiação, utilizando as raias espectrais, radiância espectral e como a teoria de Planck conseguiu conciliar a teoria com os dados experimentais, de acordo com o que foi apresentado no capítulo II. Para este ciclo, devido ao possível tempo alongado das discussões, o tempo previsto é entre 1 e 2 aulas.

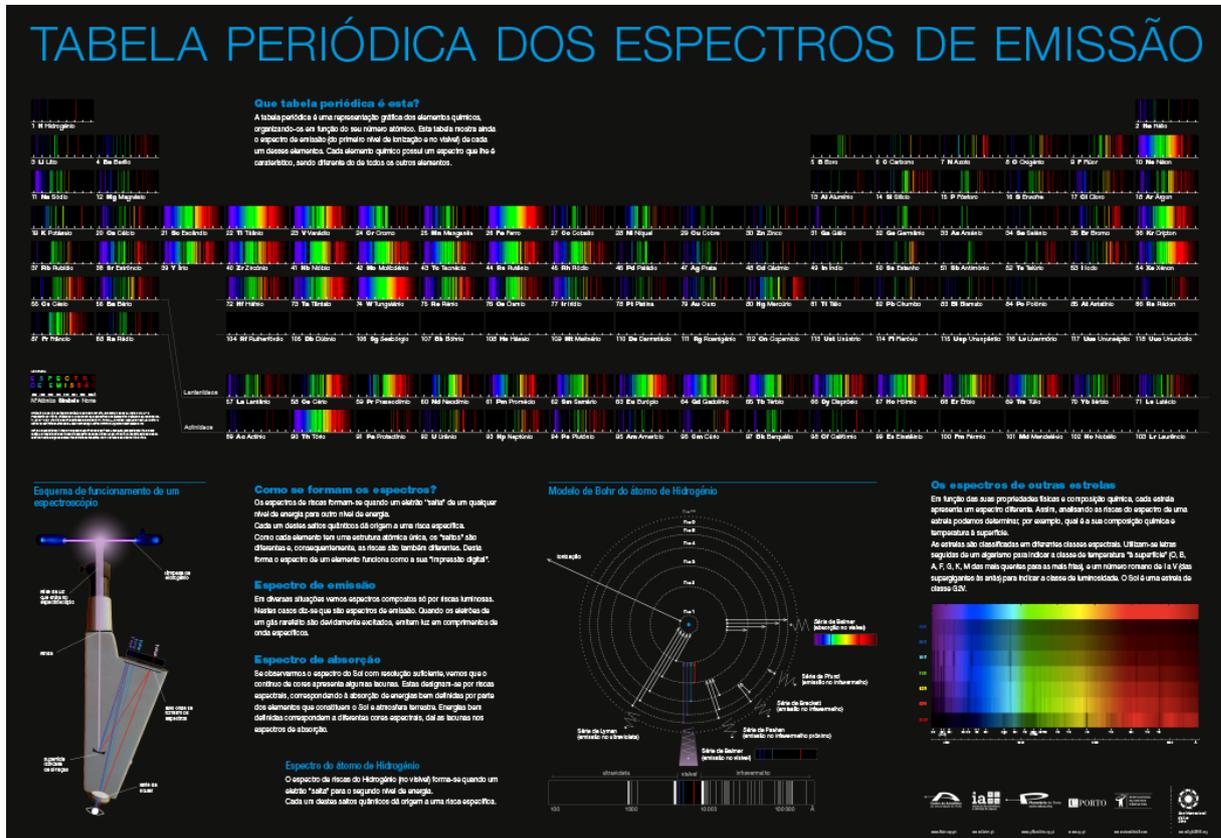
3.3.1.2 Segundo Ciclo: Experimento

Para este ciclo, é importante que o professor já deixe pré-agendado com os alunos que se apresentem no laboratório de informática, ou que o mesmo já deixe montado um projetor em sala de aula para que os alunos acompanhem o desenvolvimento do experimento pelo computador do professor, deixando a parte de montagem mais ágil.

Dividindo os alunos em grupos de até 4 alunos, é de suma importância que o professor deixe bem claro cada passo dado dentro do software do experimento, abrindo espaços para perguntas e explicando que o sensor do equipamento está captando a intensidade luminosa emitida pelo corpo analisado em questão.

Assim como visto na Figura 13, o professor pode mostrar aos alunos como um corpo negro, tem seu pico de intensidade deslocado para comprimentos de onda menores quanto maior é sua temperatura, aqui o professor pode discorrer a respeito do deslocamento de Wien e o funcionamento dos termômetros infravermelhos que podem aferir a temperatura dos objetos mesmo sem tocá-los. O professor pode ainda, como visto na Figura 14, comparar suas raias espectrais para supor qual elemento que está irradiando, comparando-os com as linhas espectrais já conhecidas dos elementos, como podemos ver na tabela da Figura 16:

Figura 16: Tabela Periódica dos Espectros de Emissão.



Fonte: <http://www.planetario.up.pt/pt/recursos/tabelaperiodica>. (Acesso em: 07/02/2022).

O professor pode entregar esta tabela ou projetá-la em grande escala para os alunos, podendo aqui discorrer que é através desta análise que astrónomos identificam quais é a composição elementar de estrelas há distâncias gigantescas, além de poder ser usada para introduzir o funcionamento de um espectroscópio.

Se os alunos estiverem acompanhando e o professor tiver tempo disponível, ele pode ainda salientar que os espectros de emissão e de absorção são complementares, como pode ser visto nas Figuras 4 e 5 e explicar que este é o motivo de roupas mais escuras absorverem mais energia de radiação solar e esquentarem mais, uma vez que absorvem grande parte do espectro.

A estimativa é que o professor consiga efetuar as medidas e sanar possíveis dúvidas que surjam durante a prática entre 1 e 2 aulas.

3.3.1.3 Terceiro Ciclo: Avaliação do Aprendizado

Como avaliação de aprendizado, o professor pode trazer um questionário a respeito do que foi apresentado em sala para os alunos responderem em grupo, ou abrir a discussão entre os grupos formados. Segue abaixo algumas sugestões de perguntas:

- Explique com suas palavras o que é radiação e dê alguns exemplos.
- Explique com suas palavras o que são ondas e dê alguns exemplos de ondas mecânicas e eletromagnéticas.
- Explique com suas palavras o que é um corpo negro.
- Explique com suas palavras porque roupas mais escuras esquentam mais no sol por exemplo e porque não faz tanta diferença durante a noite.
- Segundo o experimento dado a respeito do corpo negro e a Tabela Periódica dos Espectros de Emissão, qual era o gás cujas raias espectrais foram analisadas?
- Explique com suas palavras como se dá o funcionamento de um termômetro infravermelho.

O professor pode optar por deixar os alunos levarem o questionário para casa e discutirem em grupo para posterior entrega, ou ainda, pode abrir a discussão destas perguntas em sala de aula o que pode levar de 1 a 2 aulas.

3.3.2 Sequência Didática para Experimento em Laboratório Virtual

O Quadro 2 abaixo, mostra um esboço da estrutura com os objetivos da sequência didática para o Laboratório Virtual:

Quadro 2: Estrutura da sequência didática com base no experimento virtual de radiação do corpo negro.

COMPONENTE CURRICULAR: Física	SÉRIE: 3º Ano do Ensino Médio
TEMA: Física Moderna	UNIDADE TEMÁTICA: Radiação de Corpo Negro
TÍTULO: Experimento Virtual de Radiação de Corpo Negro	Nº DE AULAS PREVISTAS: De 3 a 5
OBJETO DO CONHECIMENTO: Estudo do Fenômeno de Radiação de Corpo Negro e suas Propriedades	
HABILIDADES NA BNCC: (EM13CNT102): Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos. (EM13CNT205): Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.	
PRÉ-REQUISITOS: Conhecimento prévio sobre propagação de calor, radiação, ondulatória e análise de gráficos.	
OBJETIVOS: - Promover uma discussão a respeito do que é radiação, apontando suas formas de emissão e absorção; - Compreender o que é um corpo negro e seu mecanismo de absorção de energia; - Relacionar absorção de energia através de radiação com aumento de temperatura; - Discutir fenômenos relacionados à radiação de corpo negro e sua aplicabilidade no cotidiano; - Desenvolver habilidades de interpretação de gráfico e dados; - Incentivar o trabalho em grupo e colaborativo.	

Fonte: Autoria Própria (2022).

3.3.2.1 Primeiro Ciclo: Introdução Teórica

Este ciclo pode ser feito idêntico ao descrito no item 3.3.1.1.

3.3.2.2 Segundo Ciclo: Experimento

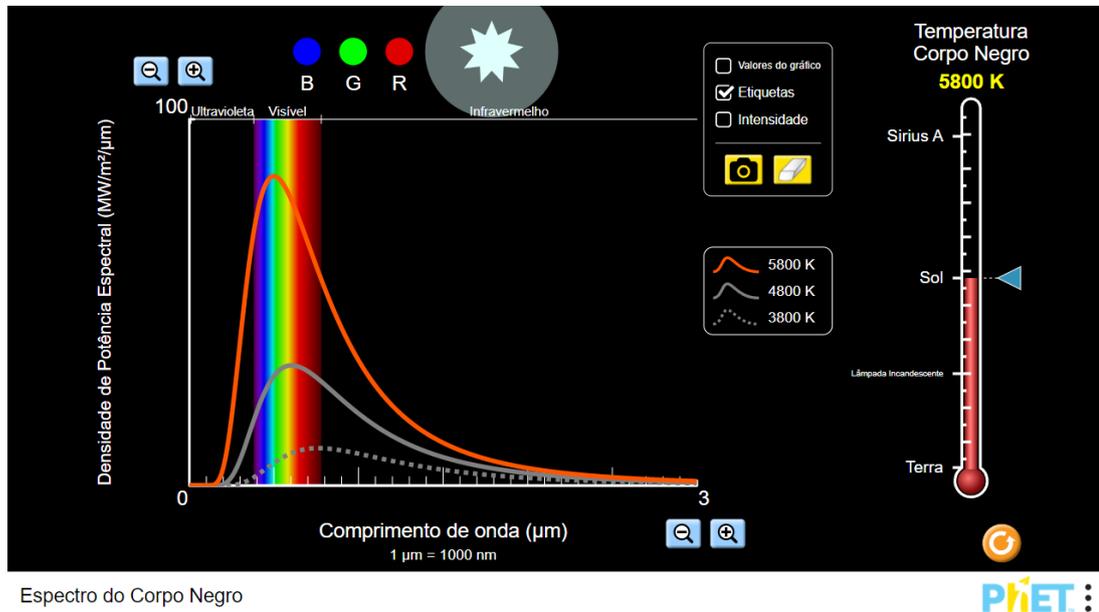
Para este ciclo, o professor pode pedir que cada grupo abra em um celular o experimento de Espectro de Corpo Negro, conforme descrito no item 3.2.1, caso não seja possível, é importante que o professor já deixe pré-agendado com os alunos que se apresentem no laboratório de informática, ou que já deixe montado um projetor em sala de aula para que os alunos acompanhem o desenvolvimento do experimento pelo computador do professor, deixando a parte de montagem mais ágil.

Dividindo os alunos em grupos de até 4 alunos, é de suma importância que o professor deixe bem claro cada passo que ele ou os alunos deve dar dentro do software do experimento, abrindo espaços para perguntas e explicando cada funcionalidade do software.

Assim como visto na Figura 15, o professor pode mostrar aos alunos como um corpo negro, tem seu pico de intensidade deslocado para comprimentos de onda menores quanto maior é sua temperatura, alterando-a na barra lateral que vai de 200 a 11000 Kelvins. O professor pode, por exemplo, selecionar a temperatura de 3800 K, clicar no ícone amarelo e preto de uma

câmera, depois selecionar a temperatura de 4800K, selecionar novamente o ícone da câmera e por fim, selecionar a temperatura de 5800K, e desta forma discutir o deslocamento de Wien, como pode ser visto na figura 17:

Figura 17: Experimento virtual de Espectro do Corpo Negro com espectro analisado a diferentes temperaturas.

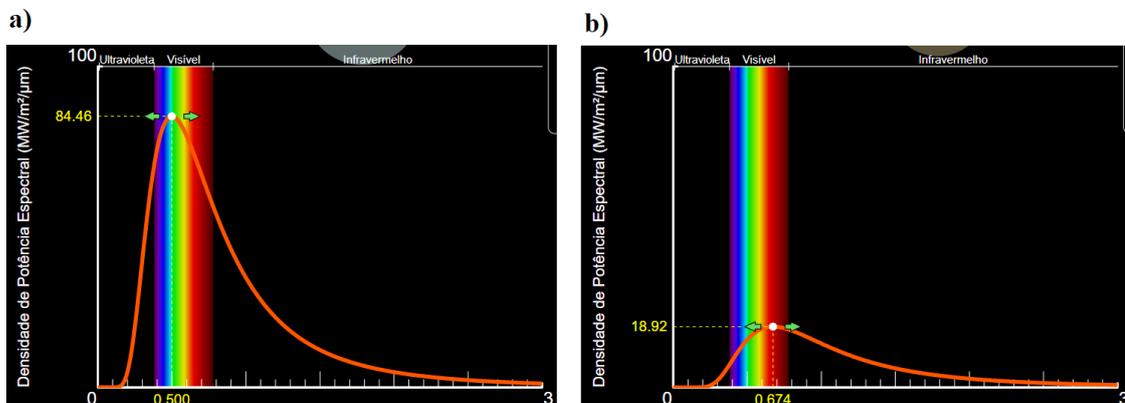


Espectro do Corpo Negro

Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt.html. (Acesso em: 23/02/2022).

Selecionando a opção “Valores do gráfico”, o qual habilitará um cursor com o qual é possível encontrar manualmente o valor de intensidade máxima do gráfico como pode ser visto na Figura 18:

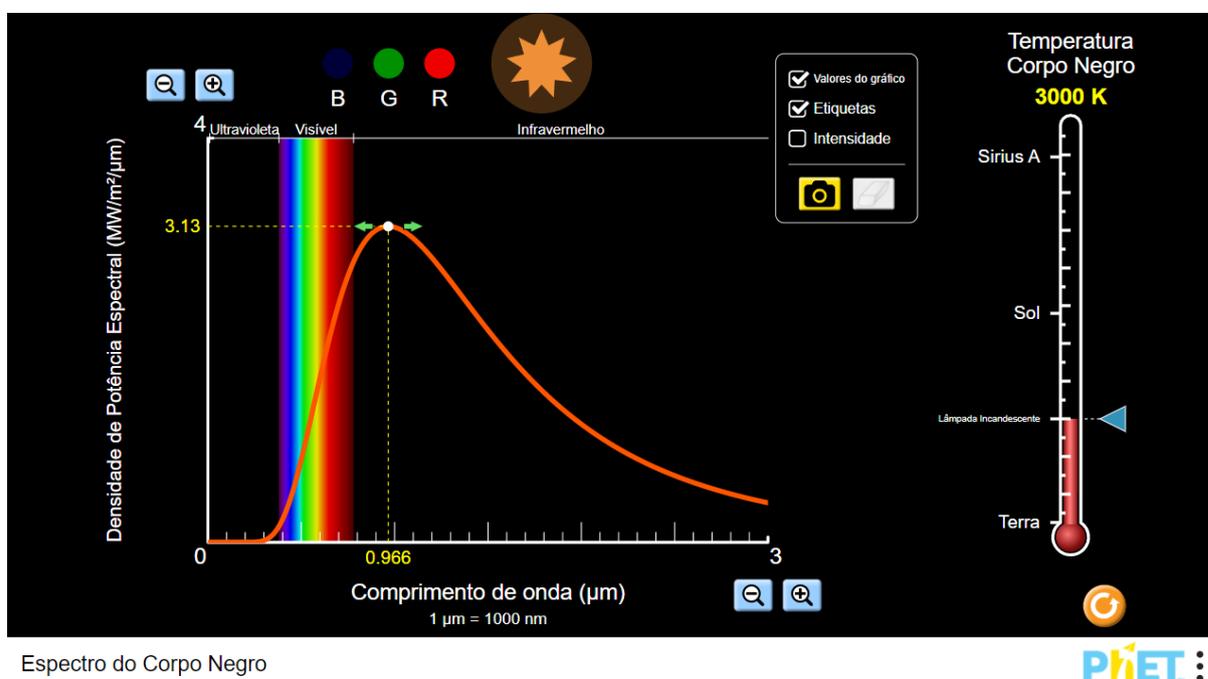
Figura 18: Capturas de tela do experimento de Espectro do Corpo Negro, sendo a) corpo negro à temperatura de 5800 K e b) corpo negro a temperatura de 4300 K.



Fonte: Adaptado de https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt.html. (Acesso em: 23/02/2022).

É possível que o educador desenvolva com mais clareza o conceito de pico máximo de emissão, onde pode discutir, por exemplo, o funcionamento do termômetro infravermelho. Ou ainda, discutir a densidade de emissão de radiação do corpo, que explica, por exemplo, a cor alaranjada da lâmpada incandescente, que pode ser observada através da indicação da cor de emissão localizada na parte central superior, além de poder discorrer a respeito de seu pico de emissão estar no espectro do infravermelho, o que explica seu enorme gasto de energia para uma emissão de luz consideravelmente fraca e sua alta temperatura, uma vez que seu pico de emissão está fora do espectro da luz visível, como pode ser observado na Figura 19:

Figura 19: Captura de tela do experimento de Espectro do Corpo Negro com temperatura equivalente a uma lâmpada incandescente.



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt.html. (Acesso em: 23/02/2022).

A estimativa é que o professor consiga efetuar as medidas e sanar possíveis dúvidas que surjam durante a prática entre 1 e 2 aulas.

3.3.2.3 Terceiro Ciclo: Avaliação do Aprendizado

Como avaliação de aprendizagem, o professor pode trazer um questionário a respeito do que foi apresentado em sala para os alunos responderem em grupo, ou abrir a discussão entre os grupos formados. Segue abaixo algumas sugestões de perguntas:

- Explique com suas palavras o que é radiação e dê alguns exemplos.

- Explique com suas palavras o que são ondas e dê alguns exemplos de ondas mecânicas e eletromagnéticas.
- Explique com suas palavras o que é um corpo negro.
- Explique com suas palavras como se dá o funcionamento de um termômetro infravermelho.
- As lâmpadas incandescentes foram um grande marco na história solucionando o problema da iluminação. De acordo com o que foi visto no experimento virtual de Espectro do Corpo Negro, explique porque a lâmpada incandescente não é mais viável.

O professor pode optar por deixar os alunos levarem o questionário para casa e discutirem em grupo para posterior entrega, ou ainda, pode abrir a discussão destas perguntas em sala de aula o que pode levar de 1 a 2 aulas.

3.4 Experimento de Baixo Custo

Como complementação, o professor pode inserir a montagem de um espectroscópio de baixo custo, o que pode auxiliar, por exemplo, na explicação da determinação da composição de planetas distantes sem nunca ter colhido amostras (YAMAMOTO; FUKU, 2016).

- Material:

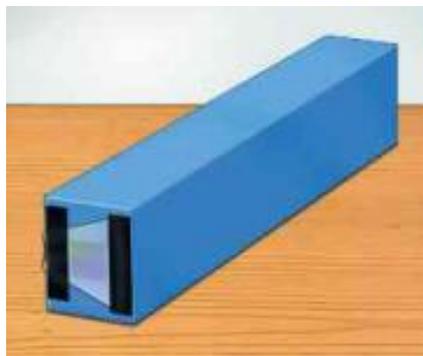
- Um CD gravável;
- Uma caixa de creme dental;
- Fita adesiva transparente;
- Fita Isolante;
- Tesoura (capaz de cortar o CD).

- Montagem:

- I. Cubra a superfície do CD gravável, do lado onde está impressa a marca do fabricante, com fita adesiva.
- II. Corte o CD em 8 pedaços iguais, como se corta uma pizza.
- III. Com os pedaços em mãos, puxe a fita adesiva, observe que a tinta sairá e sobrarão apenas a parte transparente dos pedaços do CD. Evite tocar esta superfície com os dedos.
- IV. Faça um orifício retangular do tamanho de uma das partes do CD em uma das pontas da caixa de creme dental.

- V. Coloque o pedaço de CD no orifício e fixe com fita isolante, como na Figura 19:

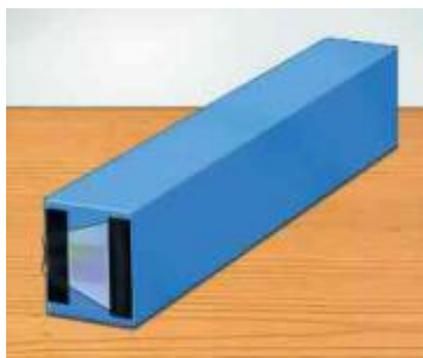
Figura 20: Esquema de montagem do lado com o CD.



Fonte: (YAMAMOTO; FUKU, 2016).

- VI. Na outra ponta da caixa, faça um fino corte de 1 mm e cubra o resto com fita isolante para vedar a passagem de luz, como na Figura 20:

Figura 21: Esquema de montagem do lado com o corte.



Fonte: (YAMAMOTO; FUKU, 2016).

Está pronto, o espectroscópio rudimentar já pode ser utilizado para observar algumas fontes de luz. Lembrando que para utilizá-lo corretamente você deve apontar o corte fino para o objeto que você deseja analisar e observar através do lado com o CD.

Ao incidir luz policromática numa rede de difração, observamos que quanto maior a frequência da onda da componente, maior será o ângulo de desvio. Lâmpadas incandescentes produzem espectros contínuos, ou seja, os comprimentos de onda emitidos por um sólido incandescente são tão próximos que não percebemos separação entre eles, já as lâmpadas que possuem gases em seu interior emitem um espectro discreto, característico do gás, isto é, alguns comprimentos de onda bem distintos. No caso da observação do céu, há gases na atmosfera que apresentam outras linhas de absorção, que nem sempre são observáveis com um dispositivo

caseiro, neste caso é oportuno discutir com os alunos a respeito da existência de poluentes no ar. Uma alternativa virtual para a discussão dos espectros de emissão e absorção é o software da PhET Colorado denominado Modelos do Átomo de Hidrogênio.

Capítulo IV

REFLEXÕES GERAIS

Neste item serão discutidas as relações entre o embasamento teórico presente no capítulo II e a sequência didática presente no capítulo III. Refletindo a respeito de onde cada ideia inicialmente pretendia ser trabalhada e de como ela viria a alcançar seus objetivos pretendidos, algumas sugestões de complementação teórica ou outras considerações que forem oportunas.

O primeiro ponto a ser tratado é que o projeto tinha como objetivo tratar apenas do laboratório remoto, porém, devido a todas as dificuldades relacionadas ao funcionamento deste laboratório e a disponibilidade do mesmo para os professores, acabou sendo adicionada uma sequência didática para um laboratório virtual, devido à sua facilidade de acesso simultânea, a qualquer horário, permitindo até mesmo que o aluno repita o experimento, bastando ter acesso a um computador ou celular com conexão de internet.

É importante salientar que durante o planejamento da sequência e principalmente durante sua aplicação em sala, apesar do esmero do professor, é muito difícil fazer com que todos os ciclos mantenham suas características e alcancem todos os objetivos previstos pelo professor, principalmente o momento de contextualização, identificação de conhecimentos prévios e de introdução teórica. No entanto, para esta situação fica a sugestão de uma boa revisão teórica por parte do professor, de preferência além da apresentada nos livros didáticos e sempre instigar o diálogo com o aluno para a partir dele desenvolver a aula para que fique mais proveitosa o possível para o aluno.

Outra dificuldade é que uma proposta de sequência didática tradicional, já é por si só complicada de se planejar em sua totalidade, pois a aula na prática é dinâmica e mutável, por se tratar de um ensino dialogado, onde os estudantes participam mais ativamente da aula. A dificuldade em dar sugestões e apontamentos mais específicos aumenta, em alguns casos podemos até tentar prever o que os alunos vão falar ou responder, devido a condução da aula, mas nunca se tem certeza, então cabe ao educador escolher utilizar aquilo que realmente se faz pertinente e tem mais sentido no momento da aula e descartar ou modificar o resto. O formato em ciclos, facilita ao professor fazer alterações necessárias de acordo com sua necessidade, podendo aumentar ou diminuir o número de aulas para cada aplicação de acordo com a resposta de cada turma.

Considerando que a para a ciência em geral, em especial a física moderna, a elaboração de hipóteses coerentes, pode exigir muito dos alunos, principalmente devido ao tempo escasso que o professor tem para desenvolver toda a grade curricular, um bom desenvolvimento do contexto histórico-social que também foi abordado no capítulo II é essencial para que o aluno entenda que a ciência é construída por hipóteses que são validadas e derrubadas conforme a mesma avança. O aluno compreender que uma hipótese por mais que pareça incompleta ou falha pode ser essencial para o desenvolvimento final de uma teoria, como foi o caso das contribuições de Wien e Rayleigh, pode ser a contribuição mais importante desta sequência para o aluno.

Portanto, apesar de o professor ser responsável por apresentar a base teórica para os estudantes, ele deve evitar que a prática se torne unicamente expositiva. Portanto, durante o experimento o educador deve pedir aos alunos sugestões de onde posicionar a escala de temperatura por exemplo, podendo abrir discussões riquíssimas como a de que a própria terra pode emitir radiação, ou ainda, indagar aos alunos o porquê de escolhermos determinadas temperaturas para fazer aferições e de que as mesmas aferições podem ser feitas em outras posições sendo possível tirar as mesmas conclusões, dependendo da participação dos alunos durante o experimento.

Em relação ao uso de cada sequência, fica a cargo do professor definir qual sua necessidade com cada turma, podendo até mesmo aplicar os dois experimentos caso o tempo permita. O laboratório remoto traz à tona abordagens mais científicas, uma vez que se trata de um experimento real, com dados mais precisos e possui o diferencial das raias espectrais, porém, tem o agravante da dificuldade de manipulação do software e sua disponibilidade ser mais limitada. Já o laboratório virtual, tem uma gama de possibilidades mais discreta, possuindo uma abordagem mais qualitativa, em contrapartida, sua manipulação é bem mais simples e intuitiva, podendo ser acessado a qualquer momento, permitindo sua réplica por parte dos alunos, além de trazer o diferencial de analisar a cor de objetos a determinadas temperaturas, facilitando a explicação de funcionamento de lâmpadas incandescentes e termômetros infravermelhos.

Independente de qual opção o educador achar mais viável para aplicação em sala, o importante é que mantenha como característica principal de sua aula o alto grau de liberdade intelectual, permitindo que os alunos perguntem, argumentem e trabalhem ao máximo sua criatividade e raciocínio lógico, estimulando o espírito investigativo dos alunos.

Para finalizar, é importante frisar que o professor avalie os alunos por completo, desde sua participação até os argumentos utilizados durante o experimento e em suas respostas às perguntas sugeridas ao fim da atividade, não focando apenas em avaliações binárias como certo ou errado, ficando como sugestão trazer para a próxima aula a discussão, agora comandada pelo próprio professor discussões a respeito de respostas equivocadas dadas pelos alunos no questionário, pois, como Ausubel aponta, a aprendizagem não ocorre no momento em que avaliamos, uma vez que, para alguns, pode levar um tempo maior, ou até mesmo nem ocorrer, pois depende de fatores cognitivos, afetivos e sociais.

[...] é essencial levar - se em consideração as complexidades provenientes da situação de classe de aula, estas por sua vez, incluem a presença de muitos alunos de motivação, prontidão e aptidões desiguais; as dificuldades de comunicação entre professor e aluno; as características particulares de cada disciplina que está sendo ensinada; e as características das idades dos alunos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 5).

Lembrando que o objetivo nunca é expor algum grupo ou o aluno, mas sim discorrer sobre as possíveis dúvidas que ainda ficaram presentes para os estudantes, servindo como uma forma de correção de atividade mais didática que serve como uma excelente complementação da sequência.

Capítulo V

CONCLUSÃO

Este trabalho de conclusão de curso teve como principal motivação usar algumas das estratégias didáticas estudadas durante o curso para elaborar uma proposta didática para o ensino da Radiação do Corpo Negro no ensino médio, mas com algumas preocupações a mais das que se costuma ter no ensino tradicional, como, proporcionar um ensino sobre ciências e não apenas em ciências (FORTO, PIETROCOLA, MARTINS; 2011), além de considerar os conhecimentos prévios dos educandos, bem como promover o papel de protagonistas e contribuir com a formação científica e tecnológica de todos os educandos, inclusive dos que não venham a seguir carreira na área de ciências exatas.

Cada sequência didática tem seu potencial específico, mas ambas podem se auxiliar mutuamente. O ensino de física moderna, principalmente por contemplar fenômenos não perceptíveis a olho nu, se tornam um grande desafio para ser aplicado em uma turma de ensino médio, correndo o risco da abordagem dada ser superficial devido ao curto tempo que o professor tem para aplicá-la, podendo não ficar em harmonia com a teoria apresentada, por isto a complementação das aulas de ciências em geral com experimentos é indispensável para a contextualização, principalmente na sociedade tecnológica em que vivemos hoje.

Além da possibilidade de mescla das sequências, devido à simplicidade de construção das mesmas, elas permitem outras abordagens por parte dos educandos, como por exemplo, o professor pode trabalhar a introdução teórica já aplicando o experimento, contextualizando o aluno, diminuindo significativamente o tempo de aplicação da sequência e aumentando a capacidade do aluno de argumentar e teorizar durante as discussões propostas.

A maior dificuldade da aplicação destas sequências, além do tempo e da disponibilidade dos computadores e experimentos é a articulação dos ciclos pelo professor, uma vez que, apesar de sua simplicidade, conforme a aula se desenvolve as perguntas que surgirão ou os rumos que as discussões tomarão quando se dá espaço a discussão com os alunos é totalmente imprevisível, porém, a liberdade intelectual dos alunos nestas sequências é o ponto chave no desenvolvimento do aprendizado significativo.

Por fim, é importante salientar que estas sequências não foram elaboradas com a pretensão de que o educador, ao aplicá-las, alcance todos os objetivos aqui previstos, porém, a pretensão é que a aplicação de cada vez mais sequências didáticas similares a esta se consiga

atingir estes e outros objetivos, que vão além da avaliação, construindo aos poucos uma educação mais significativa.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P; NOVAK, J. D; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, (1990).

BATISTA, M. C. **Um estudo sobre o ensino de astronomia na formação inicial de professores dos anos iniciais**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Maringá (UEM). 2016. Disponível em: <http://www.btdea.ufscar.br/arquivos/td/2016_BATISTA_T_UEM.pdf>. Acesso em 11 de novembro de 2021.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental. **Tecnologias na Escola**. Brasília, MEC/SEF, 1997. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em 27 de dezembro de 2021.

DAHMEN, S. R. **A obra de Boltzmann em Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 281 - 295, 2006.

DE MELLO FORATO, T. C; DE ANDRADE MARTINS, R; PIETROCOLA, M. **A história e a natureza da ciência no ensino de ciências: obstáculos a superar ou contornar**. The History and the Nature of Science in the Science Teaching: Solving or Conterbalancing Obstacles. 2010.

DE SÁ, R. A; MENDES, A. A. P; HORN, G. B. **As Tecnologias da Informação e Comunicação nas Escolas de Educação Básica**. Revista Intersaberes, vol. 12, nº 27.

EISGERG, R. M; RESNICK, R. **Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Nona Edição; Editora Campus/Elsevier, 1994.

GIORDAN, M; GUIMARÃES, Y. A. F.; MASSI, L. **Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências**. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, v. 8, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Fundamentos de Física. Óptica e Física Moderna**. 9. ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014, v. 4.

KUHN, T. **Black-body theory and the quantum discontinuity, 1894-1912**. Oxford University Press, 1978.

LONGAIR, M. S. **Theoretical Concepts in Physics: An Alternative View of Theoretical Reasoning in Physics for Final-Year Undergraduates**. University of California, Berkeley, 1986.

LUCIANO, A; LUCIANO, A. P. G; FERNANDES, P. R. G, TAKAI H, FUSINATO, P. A. **Remote Access Experiment as a Facilitator for Teaching modern and contemporary physics in Secondary Schools**. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1286 (2019) 012035.

MALDONADO, A. P. B. **Ondas Eletromagnéticas com Ênfase em Raios X: Uma Proposta Didática com o Uso de Tecnologias Educacionais**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes. 2020. 149 Páginas. Dissertação de Mestrado – Curso de Física. Departamento de Física. Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR.

NETO. O. G. **Análise da Didatização do Tema Radiação de Corpo Negro sob a Luz da Teoria Antropológica do Didático**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/123351/325650.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em 20 de fevereiro de 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso Básico de Física 2 - Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4ª edição, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo 2002.

OLIVEIRA, I. F. **Raios X no Ensino Médio via Acesso Remoto na perspectiva da Aprendizagem Significativa**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes. 2016. 84 Páginas. Dissertação de Mestrado – Curso de Física. Departamento de Física. Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR.

SANCHES, M. B. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Qual sua presença em sala de aula?** 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática) - Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática, Universidade Estadual de Maringá, 2006. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/fisica/dissertacoes/fisica_moderna.pdf>. Acesso em 21 de janeiro de 2022.

SILVA, J. B. **A Utilização da Experimentação Remota como Suporte para Ambientes Colaborativos de Aprendizagem**. Disponível em: <<http://btd.egc.ufsc.br/wp-content/uploads/2010/06/Juarez-Bento-da-Silva.pdf>>. Acesso em: 20/02/2022.

STUDART, N. **A Invenção do Conceito do Quantum de Energia Segundo Planck**. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, v. 22, n.4, p. 523-535, 2000.

VALADARES. E. C. **Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 15, nº 2, Ago. 1998.

VILLATORRE, A. M.; HIGA, I.; TYCHANOWIEZ, S. D. **Didática e avaliação em física**. São Paulo: Saraiva, 2009.

YAMAMOTO, K; FUKU, L. F. **Física para o Ensino Médio 3: Eletricidade e Física Moderna**. Editora Saraiva, 4ª Edição – 2016, São Paulo