



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DANIEL SAMPAIO NUNES

**COMUNIDADES INVESTIGATIVAS NO ENSINO DE FÍSICA:
UMA ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO**

BRASÍLIA/DF

2019

Daniel Sampaio Nunes

**COMUNIDADES INVESTIGATIVAS NO ENSINO DE FÍSICA:
UMA ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho.

BRASÍLIA/DF

2019

Ficha catalográfica elaborada automaticamente, com
os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

NN972c Nunes, Daniel Sampaio
Comunidades Investigativas no ensino de Física: uma
abordagem interdisciplinar da radiação do corpo negro /
Daniel Sampaio Nunes; orientador Olavo Leopoldino da Silva
Filho. -- Brasília, 2019.
134 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física) -- Universidade
de Brasília, 2019.

1. Ensino de Física. 2. Aprendizagem Significativa. 3.
Comunidade de Investigação. 4. Interdisciplinaridade. 5.
Radiação do Corpo Negro. I. Leopoldino da Silva Filho,
Olavo, orient. II. Título.

Daniel Sampaio Nunes

**COMUNIDADES INVESTIGATIVAS NO ENSINO DE FÍSICA:
UMA ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO**

DISSERTAÇÃO APROVADA PELA

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho – Universidade de Brasília

Dr. Marcello Ferreira – Universidade de Brasília

Dra. Bianca Martins Santos – Universidade Federal do Acre

BRASÍLIA/DF

2019

Dedico este trabalho com todo o amor e respeito à minha família, em especial:

À minha esposa, Luzia Marina Keller Morloc, companheira sempre, fruto da minha inspiração, guerreira e vencedora. Aos meus filhos Ian e Vitória Sampaio, a quem tanto amo, por me ensinarem mais do que ensino a eles e por compreenderem esses anos de luta e crescimento.

À minha mãe maravilhosa, Maria Auxiliadora Sampaio, por todo o amor, carinho e sacrifícios; por me ensinar a lutar e nunca desistir; e por me transformar no homem que sou hoje, estando sempre em suas orações.

Aos meus irmãos Adriano, Alexandre e Camila Sampaio, por serem o alicerce da minha vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre abençoando meu lar em todos os momentos, trazendo contentamento em momentos de tristeza, ânimo nos momentos de desalento e alívio nos momentos de exaustão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho, pela paciência, predisposição e empenho nos momentos de orientação para a construção e conclusão deste trabalho.

À Banca Examinadora, Dra. Bianca Martins Santos e Dr. Marcello Ferreira, pelas precisas e valiosas contribuições, o que conferiu maior qualidade a este trabalho.

Ao meu grande amigo e companheiro do Mestrado, Edvaldo Vieira Faria Júnior, pela companhia nas viagens até Brasília e aprendizado nas trocas de ideias para a realização desse curso.

Ao meu querido primo/irmão, Kenneth Roosevelt Sampaio Mendonça, por proporcionar maravilhosas e empolgantes conversas filosóficas.

Ao recente amigo, Me. Juvenilto, pelo auxílio e zelo na revisão deste trabalho.

Aos alunos da 3ª série do Ensino Médio e ao grupo gestor do CEPI-PXT, pela enorme contribuição durante o desenvolvimento deste trabalho.

À equipe de professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Polo UnB, pelas contribuições diversas e pelos conhecimentos transmitidos durante o decorrer do Mestrado.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela criação do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Há homens que lutam um dia e são bons, há outros que lutam um ano e são melhores, há os que lutam muitos anos e são muito bons. Mas há os que lutam toda a vida e estes são imprescindíveis.”

Bertolt Brecht

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é apresentar uma abordagem interdisciplinar para o ensino do fenômeno da Radiação do Corpo Negro, de modo a incentivar a construção de um raciocínio logicamente elaborado e sistematizado pelos estudantes. O estudo em questão se fundamenta na condução de uma comunidade de investigação, conforme propõe Lipman (1985; 1990; 1995); e se orienta pelos princípios da aprendizagem significativa, como recomenda Ausubel (1980). Destaca-se neste trabalho a importância do incentivo docente à atitude reflexiva dos estudantes, com orientações para a condução ética nos debates, encorajamento à participação e ao pensamento autônomo, e criteriosas indagações científicas durante a construção do conhecimento. Emprega-se a abordagem qualitativa, a fim de favorecer a compreensão de complexos processos que tratam do ensino e aprendizagem, envolvendo as práticas de sujeitos (professor e estudantes) em relação ao objeto (tema em estudo). A sequência didática se desenvolveu em uma disciplina eletiva, com turma de 3º ano do ensino médio de uma escola pública de tempo integral em Goiânia. A abordagem do tema se apresentou em 4 encontros semanais, cada um com aulas duplas, totalizando 8 aulas. A sequência didática foi planejada para uma turma em contexto específico, mas pode ser adaptada para turmas que apresentam realidades diversas. No decorrer das atividades destacaram-se a socialização, com trocas de informações e de argumentos, e o reconhecimento da importância dos conhecimentos que os estudantes já possuíam. As diversas metodologias aplicadas, tendo como exemplo o emprego de organizadores prévios, os debates, os trabalhos em grupo e a realização de experimentos e de simulações no laboratório de informática – com a fundamentação das teorias de educação e de aprendizagem referenciadas – confirmaram serem eficientes, o que se comprovou pela análise de desempenho efetuada encontro a encontro e pela consulta aos alunos ao final da aplicação do produto. Os experimentos executados durante a sequência didática relacionaram a teoria à prática da experimentação, de modo a promover uma aprendizagem significativa sobre o tema. Com essa abordagem, os estudantes puderam compreender, ainda, que, mesmo em caso de construção equivocada de conceitos, é possível reavaliar os resultados e, ao fazer acareação com as teorias científicas, repensar o percurso de construção do conhecimento. Esse protagonismo conferido aos educandos favorece o desenvolvimento do pensamento, a aprendizagem significativa e, conseqüentemente, a ampliação das competências e habilidades, contemplando, assim, objetivos da Teoria de Aprendizagem de Ausubel, da Teoria de Educação de Lipman, bem como das Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) e da Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Palavras-chave: Ensino de Física. Interdisciplinaridade. Aprendizagem significativa. Comunidade de investigação. Radiação do corpo negro.

ABSTRACT

The objective of this study is to present an interdisciplinary view on the study of the Black Body Radiation Phenomenon in order to incentivize the construction of a logical thinking elaborated and systematized by the students. The present study is fundament on the guides of a scientists community, as proposed by Lipman (1985; 1990; 1995); and is oriented by the meaningful learning principles, as recommended by Ausubel (1980). A highlighted on this work, is the importance of mentor incentive to student's reflexive attitude, with the guidelines and orientation on the ethical way to conduct debates, encouragement to participate and autonomous and individual thinking as well as the insightful scientific questioning during the entire knowledge construction process. Qualitative approach is used in order to assist the understanding of complex processes related to the teaching and learning including players practices (teacher and students) related to this object (topic under discussion). The teaching and mentoring process was develop in an elective discipline with the 3rd. Year Class (Ensino médio). A fulltime public school in Goiânia was selected. The theme approach was conduct on four (4) weekly meetings, each one with double classes on a total of 8 classes. The teaching and learning sequence was planned for a specific class but can be easily adapt for classes with different and distinct realities. During these activities, the socialization, information exchange and debating amongst students was a highlight. All different methodologies applied, including the pre-organization, debates, teamwork and the execution of simulations and experiments on IT laboratories, fundament on the teaching and learning referenced theories, confirm the effectiveness and efficiency of the process. This confirmed by the measured performance of the class during the meetings and by the final product application by the students. The experiments executed through the entire process related the theory to the practice of the experiment, in order to promote a meaningful understanding and learning of the topic. With this approach, the students were able to understand, even when wrong concepts where used, that it is Always possible t ore-evaluate results, and when doing it, confront the results with existent scientific theories and if required, to re-think the process of building knowledge. The protagonist given to the students assists the knowledge development, the meaningful learning and consequently, the development of skills and abilities, contemplating the objectives of Ausubel's Learning Theory, Lipman's Education Theory as well as the National Curriculum Guidelines for the "Ensino Médio" (DCNEM) and the Standard National Curriculum Base (BNCC).

Keywords: Physics education, Interdisciplinary, Meaningful learning. Investigating community, Black Body Radiation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa conceitual para conexão entre a Teoria de Aprendizagem de Ausubel e a Teoria da Educação de Lipman	37
FIGURA 2 – Caixa metálica com um pequeno orifício: representação prática de um corpo negro conforme o modelo de Kirchhoff	41
FIGURA 3 – Espectro de radiação do Sol.....	44
FIGURA 4 – Radiância espectral de um corpo negro em função da frequência da radiação – temperaturas de 1000k, 1500k e 2000k.....	45
FIGURA 5 – Comparação da radiação do corpo negro para Wien e Rayleigh.....	48
FIGURA 6 – Gráfico da distribuição de probabilidade de Boltzmann.....	50
FIGURA 7 – Gráfico da distribuição de probabilidade de Boltzmann, considerando o intervalo $\Delta\varepsilon$	51
FIGURA 8 – Comparação da curva de radiação emitida por um corpo negro	54

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Matthew Lipman e o Ensino de Filosofia para crianças	20
2.2 David Paul Ausubel e a Teoria de Aprendizagem Significativa	27
2.3 Lipman e Ausubel no Ensino de Ciência	33
2.4 A interdisciplinaridade entre o Ensino de Física e a Filosofia	39
3 TEORIA QUÂNTICA DA RADIAÇÃO	43
3.1 Corpo Negro e Radiação de Cavidade	43
3.2 Teorema de Kirchhoff	45
3.3 Lei de Stefan-Boltzmann	46
3.4 Lei de deslocamento de Wien	47
3.5 Elucidação de Planck para a Catástrofe do Ultravioleta	49
4 METODOLOGIA	56
4.1 Caracterização da escola, da disciplina eletiva e do público-alvo	57
4.2 Composição da sequência didática	59
4.2.1 A sequência didática: perfil geral	59
4.2.2 Roteiro de aulas da sequência didática	61
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1 Aplicação da sequência didática	68
5.1.1 Primeiro encontro – Aulas 1 e 2	68
5.1.2 Segundo encontro – Aulas 3 e 4	73
5.1.3 Terceiro Encontro – Aulas 5 e 6	75
5.1.4 Quarto encontro – Aulas 7 e 8	78
CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
APÊNDICE – Produto Educacional	88

INTRODUÇÃO

A Física Moderna e Contemporânea ainda é uma área frequentemente deixada de lado no contexto do Ensino Médio, em particular na rede pública de ensino. Pensando nisso, desenvolveu-se durante pesquisa uma sequência didática que apresenta uma introdução da Física Quântica a partir do fenômeno da Radiação do Corpo Negro. Tal sequência didática foi aplicada a partir da construção de uma comunidade de investigação, valendo-se de debates orientados por textos filosófico-científicos e de experimentos, de modo a contemplar, assim, as exigências da Teoria de Educação de Mathew Lipman e os ditames da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel. Buscou-se, com essa integração entre ambas as teorias, atender à proposta de Silva Filho e Ferreira (2018, p. 104) “que qualquer Teoria de Aprendizagem deve ser acompanhada de uma Teoria da Educação, de modo a fazer as necessárias conexões com a sala de aula”.

Pretende-se propiciar ao estudante um conhecimento mais significativo, ao promover a curiosidade e o pensamento científico. Isso porque na sociedade da informação, como atualmente, torna-se ainda mais premente uma educação escolar que apresente duas importantes virtudes: a) a formação do estudante para lidar de forma crítica e reflexiva com as informações a que tem acesso; b) o rompimento dos paradigmas tradicionais que distanciam os estudantes da aprendizagem. No caso do ensino de Física em particular, já que essa disciplina historicamente é marcada por estigmas, como o de “difícil” e o de “distante da realidade dos jovens”.

Dessa forma, identifica-se a necessidade do emprego de novas abordagens de ensino que favoreçam o interesse e a participação de cada estudante e, por conseguinte, sua aprendizagem. Daí a importância de teorias e metodologias como as que envolvem a Sequência Didática e a Aprendizagem Significativa.

O objetivo geral desta pesquisa é elaborar, aplicar e avaliar uma abordagem interdisciplinar de ensino de Física – sob os fundamentos da Teoria da Aprendizagem, de Ausubel; e da Teoria da Educação, de Lipman –, na qual é apresentada uma sequência didática que aborda a Radiação do Corpo Negro, de modo a incentivar a construção de um raciocínio logicamente elaborado e sistematizado pelos estudantes.

Por sua vez, os objetivos específicos são:

- oferecer um referencial teórico para o processo de ensino e aprendizagem, relacionando as teorias de Lipman e de Ausubel, de modo a fundamentar o

ensino de Física com uma abordagem dinâmica, interdisciplinar, criteriosa, processual, significativa, reflexiva e participativa;

- desenvolver a teoria da radiação do corpo negro em nível de graduação, licenciatura em Física;
- apresentar e aplicar um produto educacional preparado para turmas do 3º ano do ensino médio de uma escola pública de tempo integral de Goiânia; e
- analisar os desdobramentos da aplicação da sequência didática na prática escolar, sob a responsabilidade do pesquisador.

No intuito de cumprir todos os objetivos propostos, estruturamos este trabalho de pesquisa em 5 capítulos, além desta introdução. No primeiro capítulo, é feita uma revisão bibliográfica em que relacionamos pesquisas e estudos recentes acerca do ensino de Filosofia, da aprendizagem significativa e do ensino de Física sob uma perspectiva interdisciplinar. No segundo capítulo, apresentamos o referencial teórico adotado, em que descrevemos os fundamentos didático-pedagógicos para um processo de ensino e aprendizagem pautado em especial nas contribuições de Mathew Lipman e David Ausubel. No terceiro capítulo, abordamos propriamente o tema da Radiação de Corpo Negro, em caráter técnico e em nível mais avançado. No quarto capítulo detalhamos os critérios metodológicos da pesquisa. No quinto capítulo, apresentamos os resultados encontrados a partir do desenvolvimento e aplicação da sequência didática. No quinto e último capítulo, apresentamos os resultados e nossas conclusões.

O produto empregado durante esta pesquisa se encontra após as Referências Bibliográficas e pode ser utilizado por outros professores de Física, inclusive com as adaptações que o contexto demandar.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento bibliográfico visou a entender como se encontram as recentes pesquisas relacionadas ao ensino de Física e suas tendências, em particular algumas que já acompanhávamos. Elegeu-se, para isso, o banco de dados do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), que armazena teses e dissertações brasileiras. Esse banco de dados foi escolhido por dois motivos: está atualizado e seu sistema de busca avançada permite o emprego de dois ou mais descritores ao mesmo tempo, sem prejuízo do filtro temporal.

Ao levantarmos as teses e dissertações que se relacionavam ao nosso objeto de pesquisa, utilizamo-nos do modo “Busca Avançada”, no qual utilizamos sempre o filtro temporal de 2015-2019 e executamos 7 combinações, sempre com 2 (dois) descritores, conforme o Quadro 1:

Quadro 1 – Resultados do levantamento bibliográfico – 2015-2019

Busca	1º descritor de busca	2º descritor de busca	Quantidade de trabalhos
1ª	Ensino	“Física Quântica”	25
2ª	Ensino	“Corpo Negro”	13
3ª	“Ensino de Física	Simulador	35
4ª	“Ensino de Física”	PHET	13
5ª	“Ensino de Física”	Interdisciplinaridade	18
6ª	“Ensino de Física”	Informática	23
7ª	“Ensino de Física”	Filosofia	45

Fonte: Do próprio autor.

* Nos descritores com mais de uma palavra foram utilizadas aspas com o intuito de restringir ao máximo os resultados aos termos específicos.

Os descritores empregados apresentam relação estreita com nosso objeto de pesquisa, que trata do ensino de Física, pautada na Teoria de Aprendizagem de Ausubel e na Teoria Educacional de Lipman. Por meio de uma breve avaliação dos títulos resultantes de cada combinação, em que se consideraram as potenciais contribuições para esta pesquisa, restaram 27 trabalhos, todos “baixados” para o arquivo pessoal. Após a leitura dos resumos de todos esses trabalhos (e de algumas introduções e considerações finais), selecionamos 16 trabalhos, conforme identificamos que estes dialogavam com nossa pesquisa. Dessas pesquisas, 15 são dissertações e apenas 1 tese. Nas áreas relacionadas aos descritores utilizados, o número de

teses é expressivamente inferior ao de dissertações devido ao fato de que, na pós-graduação *stricto sensu*, o ensino de Física e outras Ciências Exatas costuma ser objeto de estudo predominantemente dos mestrados profissionais.

Apresentamos a seguir uma síntese dessas 16 pesquisas:

- Maciel (2015), em sua dissertação **“Proposta de uma sequência didática sobre tópicos de Física Quântica através do uso de simulações computacionais e da determinação da Constante de Planck e da Determinação da Constante de Planck com LEDs aplicado ao ensino médio”**, desenvolveu uma Sequência Didática sobre tópicos de Física Quântica aplicado ao Ensino Médio por meio de atividades de diferentes estratégias desenvolvidas com alunos de uma escola pública. Os resultados indicaram que houve um avanço (mais de 50% de acertos) em relação aos conceitos adquiridos sobre Física Quântica, ao que o autor conclui que o processo de ensino-aprendizagem foi positivo. Maciel (2015) sugere a inserção e o desenvolvimento de diversas estratégias no ensino de Física são essencialmente importantes.
- Morais (2015), em sua dissertação **“O ensino de conceitos de Física Quântica no ensino médio utilizando experimentos de baixo custo”**, apresenta um guia experimental para a introdução de alguns conceitos de Física Quântica no ensino médio. Em consonância com o título de seu trabalho, o autor desenvolveu um produto educacional com materiais de baixo custo. Segundo a avaliação de Morais (2015), a aplicação do produto se mostrou capaz de estimular a participação dos alunos e criou um ambiente propício e motivador para aprendizagem.
- Rocha (2015), em sua dissertação **“A necessidade do pensamento filosófico para a compreensão da Física: um estudo inspirado em Wittgenstein no contexto da mecânica newtoniana”**, discute a importância do emprego da Filosofia para a compreensão da Natureza da Ciência, em especial da Física, e para a formação de conceitos físicos, favorecendo a autonomia do sujeito. A autora compreende que o pensamento físico possui intersecções com o pensamento filosófico, tanto na atribuição de significações quanto na crítica das próprias teorias. Ao tratar das questões metafísicas relacionadas ao problema do espaço e do movimento, entre estudantes de licenciatura, procurou observar o papel desempenhado pelos pressupostos filosóficos, concluindo que sem estes haveria grandes lacunas de significação. Dessa forma, identifica a necessidade de que os professores façam descrições, deduções e classificações de fenômenos físicos

em conjunto com as proposições filosóficas, a fim de que promovam um grau mais elevado de compreensão e a formação de novas habilidades, como elaborar hipóteses, argumentações, deduções e críticas.

- Rossi (2015), em sua dissertação **“O uso de simulações virtuais como apoio ao currículo da SEE-SP para a disciplina de Física”**, busca apresentar uma série de atividades experimentais virtuais como alternativa aos experimentos práticos, a fim de superar as dificuldades que estes impõem e de melhorar a qualidade do ensino de Física. O autor orienta a criação das atividades nos aportes da aprendizagem significativa de Ausubel. Após aplicar as atividades em sala de aula, o autor conclui que as dificuldades no manuseio dos *softwares* logo são superadas pelos estudantes e que os estudantes demonstram maior envolvimento e disposição pela busca de soluções para os respectivos problemas investigativos apresentados.
- Silva (2015), em sua dissertação **“Sequência didática multimídia para o ensino de efeito fotoelétrico”**, apresenta a elaboração e a aplicação de um produto educacional voltado ao ensino do efeito fotoelétrico, introduzindo ferramentas de tecnologia de informação no ensino de Física. O autor também apresenta as simulações como alternativa à dificuldade de dispor de um laboratório apropriado para o experimento dos fenômenos físicos estudados. Segundo Silva (2015, p. 57): “[...] Podemos constatar que o envolvimento dos alunos, no decorrer do curso, apresentou um aumento significativo, bem como o desempenho nas respostas mostram que nas aplicações feitas o produto mostrou ser eficiente”.
- Silva (2015), em sua dissertação **“Uma experiência de inserção de Astronomia e Física Moderna no ensino médio a partir do Sol”**, a autora desenvolveu uma proposta didática, por meio de um produto educacional, que contemplou o ensino de Astronomia e de Física Moderna. O objetivo geral de sua pesquisa é contribuir para a melhoria do ensino de Física. Silva (2015) empregou uma diversidade de recursos educativos, como vídeos, reportagens, textos adicionais, demonstração experimental, dentre outros. Ao avaliar o processo de aplicação do produto educacional, a autora conclui que a proposta didática alcançou a todos os estudantes e que a aplicação das unidades didáticas proporcionou “uma aprendizagem satisfatória” (SILVA, 2015, p. 169).

- Ferreira (2016), em sua dissertação “**O uso do simulador PHET no ensino de indução eletromagnética**” elabora um roteiro de ensino de indução eletromagnética utilizando o simulador PHET. O autor identifica o fácil acesso dos estudantes à tecnologia e a insatisfação discente com o ensino tradicional para propor uma mudança na forma de o professor lecionar, aproveitando-se das possibilidades que a tecnologia propicia. Para isso, fundamentado na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, Ferreira (2016) elaborou e aplicou um produto educacional em turmas do 3º do ensino médio. Após avaliar com os alunos, o autor conclui que o uso da simulação melhorou a forma de expor o conteúdo em questão.
- Oliveira (2016), em sua dissertação “**A concepção de interdisciplinaridade no ensino de Ciências nos cursos de formação inicial de professores do ICET/UFAM**”, busca compreender como a interdisciplinaridade é concebida em licenciaturas que tratam do ensino de Ciências. A pesquisa se utilizou de análise documental e de entrevistas semiestruturadas de professores e estudantes de licenciaturas do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Oliveira (2016) evidenciou que, para os docentes e os discentes entrevistados, embora a proposta desses cursos seja interdisciplinar, o que se privilegia no ambiente de formação é o domínio de cada conteúdo de forma isolada, o que compromete a adoção de uma prática pedagógica interdisciplinar no ensino de Ciências.
- Campos (2017), em sua dissertação “**Utilização de simulações computacionais no ensino de Física, na área da termologia**”, propõe e executa a criação de um site off-line, bem como a criação de um roteiro de aulas práticas para as simulações computacionais aplicadas. Essas simulações computacionais são disponibilizadas por meio de um servidor web – juntamente com o roteiro – e se destinam ao ensino de Física, especificamente na área da Termologia. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel confere a fundamentação teórica ao roteiro de aulas. O autor ressalva que a simulação computacional não deve substituir as aulas práticas de laboratório experimental de Física, mas funcionar como uma alternativa para os experimentos mais complexos para a realidade do laboratório de Física. O produto foi aplicado no laboratório de informática da escola, que – devido ao servidor web criado – não dependeu diretamente de internet. Campos (2017) destaca a motivação dos alunos e a participação efetiva dos alunos no trabalho em grupo.

- Gadêlha Segundo (2017), em sua dissertação **“O ensino da Filosofia para crianças: Matthew Lipman e a perspectiva da educação emancipatória na formação de sujeitos autônomos”**, analisou se o programa de filosofia para crianças, de Lipman, é capaz de operar a emancipação e a autonomia em crianças e jovens, ao propor uma educação reflexiva e crítica, preparando-os a pensar por si mesmos. O autor procedeu à pesquisa bibliográfica, por meio da qual constatou que o programa de ensino de Filosofia de fato possibilita a formação de pensamento autônomo e crítico a crianças e a jovens.
- Santos (2017), em sua dissertação **“A Física do tunelamento quântico: uma proposta de organizador prévio para o ensino médio”**, apresenta uma sequência didática para o ensino do fenômeno do tunelamento quântico de moléculas de água presas em estruturas de berílio. A elaboração da sequência didática se fundamentou na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Foi aplicada em uma turma do 3º ano do ensino médio de uma escola da rede pública. Conforme o autor, a metodologia empregada influenciou positivamente na aprendizagem dos estudantes. Contudo, o autor ressalva um problema na enunciação dos estudantes: “[...] fica evidente também a questão **obstáculo verbal**, notadamente nas respostas que usam a palavra canal. Parece-nos que estaria associada a um caminho particular, uma trajetória, um capilar através da barreira, por onde fluiriam as moléculas. [...]” (SANTOS, 2017, p. 136, grifo nosso). Contudo, logo adiante o autor chega a considerar essas ocorrências como “normal”.
- Vidal (2017), em sua dissertação **“O uso de simulações virtuais em oficinas de formação para professores de Ciências da Educação Básica”**, investigou o emprego das simulações como alternativa metodológica no ensino de Ciências. A autora empregou a pesquisa-formação como metodologia, que subsidiou a realização de uma oficina de formação de professores de Ciências, na qual investigou a formação desses profissionais para o uso de tecnologias digitais de informação. A oficina tratou sobre as simulações virtuais na plataforma *online* do PHET e contou com um espaço para a reflexão sobre o uso das simulações na formação docente e no ensino de Ciências. Os dados da pesquisa destacam a relevância do letramento digital dos professores da área e sinalizam a potencialidade do uso de simulação virtual no ensino de Ciências.
- Martins (2018), em sua dissertação **“Abordagem de conteúdos conceituais e procedimentais em Física através de simulações computacionais baseadas em atividades investigativas”**, investiga a aprendizagem de conteúdos conceituais e

procedimentais em Física sob a mediação de simulações computacionais. O autor elaborou e utilizou um guia de atividades baseado em uma abordagem de caráter investigativa, e utilizou o *software Modellus*, que possibilita simular e compor modelos físicos. Durante o horário de aula, desenvolveram 3 atividades que tratavam de conceitos sobre movimento bidimensional, gravitação e Energia. O pesquisador conclui que “foi possível que os alunos relacionassem a ligação direta entre conteúdos de conceito e de procedimento durante a execução das atividades, sendo, estas, ferramentas com potencial dentro do ensino de Física por investigação” (MARTINS, 2018, p. 9).

- Nogueira (2018), em sua dissertação “**Interdisciplinaridade: uma análise das Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) e dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**” (PCNEM), investiga os conceitos de interdisciplinaridade nos documentos presentes no título. Para isso, utiliza-se da metodologia de Análise Documental, tendo por base alguns princípios da Análise de Conteúdo. O autor identificou que cada documento apresenta concepções distintas de interdisciplinaridade, o que reforça a ideia de que a palavra é polissêmica e polêmica.
- Xavier (2018), em sua tese “**Laboratório virtual versus laboratório material: a aprendizagem de Física com intervenções tradicionais e investigativas**”, apresenta uma pesquisa comparativa, pautada nos modelos probabilísticos e técnicas da modelagem Rasch, em testes estatísticos e na perspectiva de aprendizagem da teoria de habilidades dinâmicas. Realizaram-se intervenções educacionais nas aulas de Física de 12 turmas de Ensino Médio. Ao associarem os aspectos abordagem (investigativa ou tradicional) e ambiente (laboratório material ou virtual), identificaram que: no laboratório virtual, a abordagem investigativa favorece mais a aprendizagem de conteúdo formal; enquanto no laboratório material as duas abordagens favorecem igualmente a aprendizagem de conteúdos formais.
- Campos (2019), no artigo “**Experimentos de Física no Laboratório de Ciências e do Laboratório de Informática**”, investigar os resultados das simulações no laboratório de informática, comparando-os com os de experimentos no laboratório de Ciências. O autor, a partir da perspectiva da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), aplicou tanto experimentos tradicionais no laboratório de Ciências quanto simulações no laboratório de informática. Ao comparar os resultados, identificou-se que ambas as modalidades foram satisfatórias e auxiliaram na prática pedagógica. Dessa forma, o autor aponta que – em

caso de a escola não possuir um laboratório de Ciências, mas contar com um laboratório de informática minimamente equipado – as simulações são boa alternativa, motivando os estudantes e favorecendo a aprendizagem em ciência e tecnologia.

Ao analisarmos essas pesquisas, entendemos como o emprego da Teoria da Aprendizagem já se consolidou nas pesquisas sobre o ensino de Física. Está presente, por exemplo, nas pesquisas de Maciel (2015), Rossi (2015), Ferreira (2016), Campos (2017) e Santos (2017), o que representa a validade de seus fundamentos.

Contudo, a pesquisa de Santos (2017) oferece um indício da pertinência desta pesquisa em relacionar a Teoria de Aprendizagem de Ausubel à Teoria de Educação de Lipman. Isso porque Santos, que se utilizou da Teoria de Aprendizagem de Ausubel, apresenta o que ele denomina de “obstáculo verbal”, que diz respeito a uma associação recorrente nas respostas dos estudantes participantes da pesquisa, que indicam a dificuldade de melhor elaboração de suas respostas. Para Lipman (1985, 1990, 1995), essa dificuldade não seria meramente verbal, mas da ordem do pensamento, do significado. Assim, a Teoria da Aprendizagem não apresentou elementos suficientes para dar conta desse problema. Convém salientar, ainda, que as pesquisas de Rocha (2015) e Gadelha Segundo (2017) confirmam a contribuição de elementos do pensar filosófico para o pensar científico.

Por sua vez, as potencialidades do emprego de simuladores no ensino de Física se confirmaram pelas pesquisas de Maciel (2015); Rossi (2015); Silva (2015); Ferreira (2016); Campos (2017); Vidal (2017); Martins (2018); Xavier (2018) e Campos (2017). Boa parte desses autores mostrou que o emprego de simuladores computacionais deve ser explorado como uma alternativa, mas não devem substituir os experimentos nos laboratórios de Física, quando disponíveis. Nesse sentido, destaca-se a pesquisa de Morais (2015), que apresenta alguns experimentos de baixo custo. Portanto, esses estudos e outros estudos confirmam que é importante prezar pela coexistência dos experimentos e das simulações, sempre que possível.

Por fim, a pesquisas de Silva (2015) coopera para nossa intenção de desenvolver uma proposta de ensino interdisciplinar, ao promover uma abordagem interdisciplinar entre Física e Astronomia. Nesse sentido, duas pesquisas serviram de alerta: a) a pesquisa de Oliveira (2016), ao revelar o quanto as próprias instituições de ensino superior encontram dificuldades para oferecer uma formação interdisciplinar aos seus graduandos; b) a pesquisa de Nogueira (2018), ao mostrar como as DCNEM e as PCNEM se utilizam de concepções contraditórias de interdisciplinaridade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Matthew Lipman e o Ensino de Filosofia para crianças

Começamos destacando um breve resumo biográfico de Matthew Lipman, autor do Programa de Filosofia para Crianças, para um melhor entendimento de sua obra. Afinal, esse Programa de Matthew Lipman foi proposto há mais de 30 anos, e já alcançou a divulgação em mais de 35 países.

Matthew Lipman nasceu no dia 24 de agosto de 1922, na cidade de Vineland, em Nova Jersey nos EUA. Filho de americanos e neto de judeus russos, Lipman prestou serviço na Segunda Guerra Mundial em uma das divisões da infantaria do exército americano por três anos. Lutou contra o nazismo na França e na Alemanha, tendo conquistado duas condecorações. Regressou aos Estados Unidos em 1946 (BROCANELLI, 2010; SOUZA, 2001).

Sua vida acadêmica se iniciou na Universidade de Stanford, Califórnia, em 1948. Graduou-se em Filosofia com o auxílio de uma bolsa de estudos. Após outros quatro anos de estudos completou os requisitos para o título de Doutor na Universidade de Columbia, em Nova York. De 1950 a 1952, realizou cursos complementares de pós-graduação. Nesse período estudou em Sorbonne, na França, e em Viena, na Áustria, com o intuito de expandir sua tese. Passou grande parte da vida acadêmica realizando pesquisas sobre arte, estética e metafísica (BROCANELLI, 2010; SOUZA, 2001).

Sua primeira experiência no ensino de Filosofia ocorreu em 1953, na Faculdade Brooklyn da Universidade da Cidade de Nova York, onde permaneceu até o ano de 1975. Em 1954, na Universidade de Colúmbia, tornou-se professor de Filosofia e Civilização Contemporânea, lecionando também Lógica e Pensamento Crítico por anos. Ali conquistou o cargo de professor em tempo integral e, mais tarde, de professor titular (BROCANELLI, 2010; SOUZA, 2001).

Por volta de 1960, em virtude de seu amadurecimento e de sua experiência como professor universitário, Matthew Lipman percebeu as dificuldades para o raciocínio lógico e crítico-reflexivo de seus estudantes. Iniciou, assim, suas observações sobre a necessidade do ensino de Lógica, de maneira a promover o pensamento crítico nas escolas, com o objetivo de fazer os processos cognitivos se desenvolverem desde cedo, ainda quando crianças (BROCANELLI, 2010).

Lipman teve como fundamento teórico as ideias de John Dewey e Lev Vygotsky, que o ajudaram a ter a convicção de que as crianças apresentam condições para desenvolverem a

capacidade de pensar abstratamente desde muito cedo. Acreditando nisso, Lipman constatou que, se a Lógica fosse incluída no currículo da educação infantil, a habilidade de raciocinar das crianças poderia ser melhorada.

Então, Lipman – reconhecido por seu trabalho na comunidade acadêmica – foi convidado a lecionar no *Montclair State College* em Nova Jersey, onde conheceu sua principal colaboradora, Ann Margareth Sharp, que o ajudou a desenvolver a inovadora proposta educacional “Filosofia para Crianças e Educação para o Pensar”.

Salienta-se que o Programa de Filosofia para Crianças foi elaborado a partir de questões relacionadas às ordens: pedagógica, cognitiva, política e social, conforme explicita Silveira (1998, p. 14):

[...] suas motivações foram, basicamente, duas: uma, de ordem pedagógico-cognitiva, relacionada à sua preocupação com as deficiências de raciocínio e de aprendizagem verificadas em crianças e jovens escolares e outra, de natureza político-social, ligada à sua apreensão, quanto ao comportamento rebelde da juventude, sobretudo a partir da revolta estudantil do final da década de 60.

Para difundir esse Programa Educacional, Sharp e Lipman fundaram, em 1974, uma entidade cujo objetivo era implementar o método em mais de 30 países: o *Institute for the Advancement of Philosophy for Children* (IAPC), em português traduzido como Instituto para o Desenvolvimento da Filosofia para Crianças.

Lipman elaborou o Programa de Filosofia para crianças como uma proposta pedagógica. Pretendia, pois, acrescentar esse Programa ao currículo escolar com a finalidade de impulsionar o desenvolvimento da capacidade de pensar dos estudantes. Intentou a substituição de um modelo educacional intitulado “tradicional”, que se baseava na transmissão de conhecimento no qual o aprendiz é visto como assimilação de informações, e que tem o professor como detentor do conhecimento absoluto. Desejava substituir esse modelo por outro, denominado por ele próprio como “educação para o pensar”.

Apesar da busca pela substituição do modelo educacional “tradicional”, Lipman não dispensa os conteúdos. O autor se propõe a colocar em xeque o modelo então empregado no processo de ensino e aprendizagem, considerando falsa a convicção de que o simples acúmulo de conteúdo é suficiente. Como bem esclarece Lipman (1995, p. 253):

Não estou afirmando que o ensino de conteúdo é inútil e que corremos o risco de transformar as crianças em sábias idiotas. Mas gostaria de colocar que a ênfase em sua aquisição de informações foi exagerada e deve passar para o segundo plano, assumindo a dianteira do aperfeiçoamento de seus pensamentos e julgamento.

O Programa Filosofia para Crianças se baseia no construto “comunidade de investigação”, responsável pela inclusão de uma sala de aula voltada para uma educação investigativa. Torna-se, assim, um componente emblemático nesse Programa idealizado por Lipman, e assume um papel importante no processo que se propõe a mudar a estrutura educacional tradicional.

A comunidade de investigação torna-se, portanto, a essência de um método educativo fundamentado na investigação científica; esse procedimento almeja levar os alunos a se ouvirem reciprocamente, incentivando-os a apresentarem e a justificarem seus posicionamentos e ideias e, ajudando-se mutuamente para alcançarem conclusões mais bem elaboradas na construção do conhecimento.

A investigação está, na filosofia para crianças e jovens, diretamente ligada a procedimentos autocorretivos. Envolve os alunos em situações-problema, criados pela própria comunidade investigativa, levando-os a se ajudarem para o melhor entendimento das situações com que estão lidando. Busca melhorar e modificar essas situações-problema por meio da reflexão e da avaliação.

Quando as crianças são incentivadas a pensar filosoficamente, a sala de aula se transforma numa comunidade de investigação, a qual possui um compromisso com os procedimentos de investigação, com busca responsável das técnicas que pressupõe uma abertura para a evidência e para a razão. Pressupõe-se que esses procedimentos da comunidade, quando internalizados, transformam-se em hábitos reflexivos do indivíduo. (LIPMAN; SHARP; OSCANYAN, 2014, p. 76-77).

A proposta de Lipman visa desafiar o aluno a pensar de maneira organizada e crítica sobre os valores da sociedade, os quais a escola modifica ou perpetua. Já o professor participa adotando uma postura de mediador ao orientar os debates, pois o enfoque não está mais na “aquisição de informações”, mas na percepção das relações contidas nos temas investigados ou em elucidar um processo investigativo, abandonando a mera superposição de informações, que é o pressuposto da educação tradicional.

Quanto à educação tradicional, o posicionamento de Lipman é incisivo: “[...] o maior desapontamento da educação tradicional é o seu fracasso em produzir pessoas que se aproximem do ideal de racionalidade” (LIPMAN, 1990, p. 34).

Essa análise de Lipman muito se deve à rebelião estudantil que ocorrera em Nova York no ano de 1968. Assim, embora sob pretexto da racionalidade, muitas das ações pouco ou nada racionais dos estudantes levaram Lipman a pensar em um programa de Filosofia

preocupado em prevenir a irracionalidade, cuidando assim, que as crianças e os jovens não desenvolvessem comportamentos antissociais.

Naquela época entendi que os jovens, usando meios irracionais, chegariam a fins irracionais, pois destruía coisas, faziam críticas, mas sem propostas alternativas. Ficou claro que não tinham dominado o método de investigação para transformar o mundo. (LIPMAN, 1985, p. 69).

Sendo assim, o que se pretende alcançar com o Programa de Filosofia para Crianças é o desenvolvimento da racionalidade nas crianças e nos jovens, com a ajuda de um cultivo e revigoramento de habilidades lógicas, que durante vários momentos da aprendizagem deveriam estar presentes na vida de uma criança. Segundo Rocha (2015) e Gadelha Segundo (2017) é o que o Programa de fato promove.

Essas habilidades, que seriam aprendidas pela aplicação do Programa de Filosofia estruturado por Lipman, devem ser percebidas como um ativo para a vida, produzindo um efeito muito positivo nos campos pessoal e social da criança, bem como em todas as áreas do currículo; promoveriam, assim, um encorajamento para que as crianças alcancem autonomia na elaboração de respostas, aumentando suas potencialidades.

As habilidades lógicas são classificadas a seguir, conforme Silveira (2003, p. 7-8):

- Habilidades de raciocínio: possibilitam o estabelecimento de conclusões ou interferências a partir de conhecimentos anteriormente adquiridos, para assegurar a coerência interna do discurso. Envolvem capacidades tais como: “inferir”, “detectar premissas ou pressuposições subjacentes”, “formular questões, exemplificar”, “identificar similaridades e diferenças”, “construir e criticar analogias”, “comparar”, “contrastar e argumentar ou dar razões”.
- Habilidades de formação de conceitos: permitem a análise de conceitos, identificando seus componentes, suas relações com conceitos semelhantes e diferentes, para conferir-lhes sentido e torná-los instrumentos para a identificação e a compreensão das coisas, dos fatos e das situações. Por exemplo: “fazer distinções”, “fazer conexões”, “argumentar, classificar”, “explicar”, “definir”, “identificar significados”, dentre outras capacidades.
- Habilidades de investigação: relacionadas aos procedimentos científicos e à ideia de busca do caminho (e não da resposta pronta) para se chegar às soluções dos problemas postos pela realidade. Incluem: “observar”, “identificar problemas/questões”, “formular questões”, “formular hipóteses”, “estimar, prever”, “verificar, medir, constatar”,

“descrever, analisar”, “generalizar adequadamente”, “concluir”, “sintetizar” e “ser capaz de comportamento autocorretivo”.

- Habilidades de tradução: permite a compreensão de discursos (falados ou escritos) de modo que o sujeito desta compreensão possa reproduzir em sua própria linguagem o que ouviu ou leu, preservando o significado original. Englobam: “prestar atenção”, “interpretar criticamente”, “perceber implicações e suposições”, “parafrasear” e “inferir”.

Todo o processo leva em conta a importância de se trabalhar essas habilidades, de maneira a demonstrar um contexto humanístico. Essa abordagem previne, em princípio, o desenvolvimento adequado de tais habilidades, uma vez que o Programa não visa apenas a garantir o desenvolvimento das habilidades cognitivas das crianças, mas também assegurar que elas aprendam, sobretudo, a utilizar essas habilidades de forma racional e civilizada.

A educação envolve mais que apenas o desenvolvimento de habilidades. Podemos adquirir uma habilidade, mas podemos empregá-la mal. Podemos, por exemplo, aprender a usar uma faca habilidosamente e, então, passarmos a utilizá-la antissocialmente. (LIPMAN, 1995, p. 50).

Em uma investigação filosófica, como a promovida pelo Programa Filosofia para Crianças, pontos de vista distintos são manifestados de forma solidária, e não com o intuito de confrontar por confrontar, pois o objetivo é de pesquisar em conjunto, como uma comunidade de investigação. Tal perspectiva busca, pois, auxiliar as crianças a desenvolverem a percepção auditiva, compreendendo e respeitando outros pontos de vista, sem deixar de fazer entre si um duelo crítico, no qual aprendem a construir argumentos fundamentados e a articular suas próprias opiniões com as dos outros.

Promovendo diálogos, a Filosofia para Crianças pretende que seus participantes não fiquem satisfeitos por apenas trocarem ideias ou opiniões, como se fossem apenas informações soltas, mas sim que eles se questionem, propagando argumentos e explorando alternativas. O conhecimento, a verdade e a justiça são valores que a filosofia é capaz de trabalhar, levantando hipóteses e conceitos vitais, por intermédio da imaginação e do raciocínio das crianças.

Elas acatarão as regras da discussão acadêmica (ou gradualmente aprenderão a fazer isso); elas ouvirão umas as outras, sempre preparadas para dar as razões de seus pontos de vista e a pedir pelas razões de seus colegas; elas virão a apreciar a diversidade de perspectivas entre seus colegas e a necessidade de ver as questões dentro de contexto. O seminário de investigação de valores servirá como um modelo de racionalidade social; elas irão internalizar suas regras e práticas, e isso virá a ser estabelecido em

cada uma delas como reflexão, consideração e ponderação. (LIPMAN, 1990, p. 77).

Como mediadora do diálogo investigativo, a Filosofia para Crianças, que é um Programa de Educação para “o pensar”, busca aprimorar condições ou instrumentos do pensamento (denominados como habilidades cognitivas) no ambiente da sala de aula desde a infância. Isso tudo para compreender o que Lipman chama de pensar bem; não somente o pensar bem do conhecimento científico, mas também a capacidade de sistematizar significados culturais, mensurando-os ao invés de apenas acatá-los.

O papel do professor no Programa Pedagógico de Filosofia para Crianças passa a ser aquele que instiga a curiosidade, analisando-a e questionando-a, para converter dificuldades em discernimento, com o intuito de promover o desenvolvimento das crianças e dos jovens. Para isso, o professor deve se preparar com técnicas, estratégias e recursos, de maneira que seu diálogo com os alunos lhe permita mediar e aprofundar um círculo de conversa.

Assim, o professor deve ter um comportamento compatível com esse papel, e suas metodologias devem ser adequadas às habilidades que a filosofia enseja. O papel do professor é transformar as adversidades em dados para reflexão, estimulando a curiosidade, investigando a realidade e problematizando-a. Assim, o educador deve averiguar as necessidades do aluno e, a partir dessa realidade, problematizar as eventuais questões, criando situações de diálogo.

Observamos, portanto, que o professor precisa instigar seus alunos, usando seu dinamismo, sua criatividade, sendo eficaz na busca por informações, pesquisando e exibindo recursos didáticos diferentes para despertar a empolgação dos educandos em busca de conhecimento. Deve possuir, ainda, uma característica peculiar, que é a flexibilidade em seus planejamentos, inserindo textos que estimulem e sirvam de condutores da criatividade de todos na sala de aula.

O professor não pode limitar-se a executar os procedimentos previstos em planos ou planejamentos, mesmo ciente de tê-los elaborado. O acontecimento da aula traz sempre consigo a possibilidade de que algo surpreendente ocorra, alterando o percurso daquilo que havia sido antecipado no planejamento. (KOHAN; LEAL; RIBEIRO, 2000, p. 101).

Lipman desenvolveu uma proposta educacional com base na ideia de que a Filosofia faz análises sobre como pensamos e de que há formas mais eficazes de pensar. Fez isso com o objetivo de incentivar o empenho das crianças e adolescentes para refletirem sobre como eles pensam, o que é o pensar e a importância de saber cuidar do seu próprio pensar. No entanto,

ao realizar um diálogo filosófico em uma comunidade de investigação, a Filosofia se torna orientadora do próprio pensamento e da razão.

Ao pensar, as crianças alcançam maior predisposição a se tornarem mais críticas, criativas e sensíveis ao contexto em que vivem. Por essa razão, destaca-se a importância que é concedida ao pensar sobre o pensar e a necessidade de tomarmos consciência da forma como pensamos e de como melhorarmos essa forma de pensar. Sendo assim, a filosofia para crianças serve também como preparação para o exercício da cidadania, em que se destacam a importância de respeitar os outros e respeitar regras previamente estabelecidas, indispensáveis para a vida em comunidade.

Por consequência, sabe-se que a escola pode ser um recinto de harmonia, distração cultural, troca de experiências e experimentação, e não um mero imóvel que se encontra em um espaço físico, dispondo de materiais e recursos humanos. Não basta incorporar uma disciplina ao currículo escolar; é essencial que a equipe gestora e os docentes reconsiderem o que entendem como educação e despertem para o pensamento de boas relações sociais e de dinâmicas apropriadas, visando oportunizar para os estudantes o desenvolvimento de pensamentos consistentes, escolhas criteriosas a partir de suas necessidades, e prática de elaboração de novos conceitos e significados.

Instaurar um trabalho de Filosofia nas escolas não é simples. Mediante isso, deve-se levar em consideração que a sala de aula é um ambiente para o desenvolvimento da Filosofia para o bem pensar, estimulando o aluno a desenvolver o seu ponto de vista, seu estilo de pensamento e sua perspectiva de vida. No entanto, o ensino de Filosofia que se transpõe em diferentes vertentes deve se ampliar e se atualizar em questões temáticas interessantes.

Segundo Lipman, transformações educacionais com essa finalidade serão possíveis diante da mudança do foco da educação: “a mudança do aprender para o pensar. Queremos alunos que pensem por si mesmos, e não alunos que só aprendam o que outras pessoas pensaram” (LIPMAN, 1995, p. 44).

Soma-se a isso que

as crianças deveriam adquirir prática em discutir os conceitos que elas considerassem importantes. Fazer com que discutam assuntos que lhes são indiferentes priva-as dos prazeres intrínsecos de se tornarem educadas e abastece a sociedade com futuros cidadãos que nem discutem o que lhes interessa nem se interessam pelo que discutem. (LIPMAN, 2014, p. 31).

Para Lipman, as crianças só conseguem desempenho satisfatório e encanto pela escola quando ocorre uma relação significativa entre o que estudam e as experiências vivenciadas

por elas, principalmente dentro da sala de aula. Sendo assim, quanto mais produtivas e relevantes forem essas experiências, a criança terá maior êxito escolar.

Segundo Lipman, as crianças “não captarão os **significados** simplesmente aprendendo conteúdos do conhecimento do adulto, elas precisam ser ensinadas a pensarem e, em particular, a pensarem por si mesmas” (LIPMAN, 2014, p. 32, grifo nosso). Significado é um dos mais relevantes aspectos que estabelece uma confluência entre a teoria de Lipman e a de Ausubel, cuja ideia de significado é fundante na construção de sua teoria cognitivista. Ressalva-se, por oportuno, que ambos abordam o mesmo objeto por cortes teóricos, epistemológicos e metodológicos distintos, o que leva Lipman a pensar o significado a partir da investigação e discussão filosófica, enquanto Ausubel entende o significado a partir de um modelo cognitivista que inclui estrutura da matéria, estrutura cognitiva, significado, organizador prévio, subsunçor, problemas em níveis hierárquicos crescentes, dentre outros.

Entende-se que, para Lipman, a Lógica está presente na vida das crianças desde cedo. Para cada criança associar o seu pensamento com o pensar habilidosamente, ou seja, o pensar bem, faz-se necessário pensar de forma individual.

As crianças aprendem lógica ao mesmo tempo em que aprendem linguagem. As regras da lógica, assim como as da gramática, são adquiridas quando as crianças aprendem a falar. Se dissermos a uma criança bem pequena “se você fizer isso você apanha”, pressupomos que a criança entende que “se não quero apanhar, eu não devo fazer isso”. Esta pressuposição geralmente está correta. As crianças bem pequenas, em outras palavras, reconhecem que negar o conseqüente exige negação do antecedente. Embora isso seja um exemplo de um raciocínio muito sofisticado, as crianças são capazes de fazê-lo ainda bem pequenas. (LIPMAN, 2014, p. 34).

Segundo Lipman, a criança pensa desde cedo, elaborando até mesmo conclusões. Entretanto, para ocorrer o pensar bem, é necessário mais do que ser capaz de realizar conclusões. É fundamental que essas conclusões sejam válidas, tenham critérios, sejam críticas, reflexivas, com boa argumentação e fundamentação, dentre outros valores. Caso contrário, estaremos nos referindo a um tipo de pensamento denominado pelo próprio Lipman de “pensamento pobre”.

2.2 David Paul Ausubel e a Teoria de Aprendizagem Significativa

Da mesma forma como procedemos no tópico anterior, começamos apresentando neste tópico um resumo biográfico de David Ausubel, autor da Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), para um melhor entendimento de sua obra.

David Paul Ausubel nasceu em 25 de outubro de 1918, no Brooklyn em Nova York nos Estados Unidos da América (EUA). Filho de uma família judia imigrante da Europa Central, sofreu durante anos na escola com castigos e humilhações por não ter sua história pessoal considerada pelos professores.

Sua vida acadêmica começou na Universidade da Pensilvânia nos EUA, onde se graduou em medicina; e depois na Universidade de *Middlesex* na Inglaterra, graduando-se em Psicologia. Foi um residente assistente em cirurgia e psiquiatria no serviço de saúde pública dos EUA e, após Segunda Guerra Mundial, foi para a Alemanha trabalhar com as Nações Unidas no tratamento médico para pessoas deslocadas.

Obteve seu doutorado em Psicologia do Desenvolvimento na Universidade de Columbia, em Chicago, tendo trabalhado em projetos de pesquisas sobre psicologia cognitiva, que divulgou de forma exaustiva.

Foi professor visitante no Instituto Ontário de Estudos em Educação, e em universidades europeias, como as Universidades Salesiano de Roma e Munique. Aposentou-se em 1975 como diretor do Departamento de Psicologia da Educação de Pós-Graduação da Universidade de Nova York.

A Associação de Psicologia Americana, em 1976, premiou Ausubel por sua honrada contribuição à Psicologia da Educação. Esse prêmio o influenciou mais tarde a voltar como psiquiatra no *Children Rockland Psychiatric Center*. Faleceu aos 90 anos de idade em 9 de julho de 2008, deixando como maior contribuição a sua Teoria de Aprendizagem Significativa.

Formulou a teoria de Aprendizagem Significativa com o objetivo de propor uma teoria explicativa do processo cognitivo de aprendizagem humana. Essa teoria valoriza o saber e a compreensão de informações com base no princípio da cognição, que relega a um posto menor uma aprendizagem simplesmente fundada na aquisição “decorativa” ou mecânica de conhecimentos.

Pretendia, assim, apresentar como conteúdos, que se relacionam entre si, vão se associando com complexidade crescente. Para tal, destacou a importância estratégica dos saberes preliminares, que Ausubel chama de subsunçores, funcionando como apoio para que ocorra tanto a aprendizagem quanto o crescimento cognitivo dos alunos.

[...] Se quiséssemos reduzir a psicologia educacional em um único princípio este seria: - O fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que sabe e baseie nisso seus ensinamentos. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 137).

Os subsunçores, portanto, são aspectos existentes na estrutura cognitiva e estão relacionados a um conhecimento específico do indivíduo, apresentando-se com certa nitidez, firmeza e distinção. São, pois,

[...] uma estrutura de conhecimento específica, [que] Ausubel define como *conceito subsunçor* ou, simplesmente, *subsunçor* existente na estrutura cognitiva do indivíduo. [...] Ausubel vê o armazenamento de informações na mente humana como sendo altamente organizado, formando uma hierarquia conceitual na qual elementos mais específicos de conhecimento são relacionados a conceitos e proposições mais gerais, mais inclusos. *Estrutura cognitiva* significa uma estrutura hierárquica de subsunçores que são abstrações da experiência do indivíduo. (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 17-18).

Ao iniciar estudo em uma área de conhecimento totalmente desconhecida, o novo conceito não pode se fixar por não haver um conhecimento prévio. Consequentemente, os subsunçores passam a ser assimilados no decorrer de um aprendizado mecânico. Vale ressaltar aqui, entretanto, a importância de se ter a Filosofia como coadjuvante no aprendizado de conceitos específicos de outras áreas. Realmente sua presença pode ensejar um aumento dos subsunçores relevantes para o aprendizado, tornando-o menos mecânico. Nessa perspectiva, tornam-se colaboradoras as abordagens de Lipman e Ausubel.

Quando se podem estabelecer relações não arbitrárias entre os elementos do material manuseado e a estrutura cognitiva do aprendiz, o material é potencialmente significativo. Assim, o material instrucional de uma lição só se tornará potencialmente significativo no caso de se relacionar de alguma maneira com a estrutura cognitiva do indivíduo. Caso não haja relação entre o material e os subsunçores, não ocorrerá a aprendizagem significativa.

Aprendizagem significativa é aquela em que o sentido de um conhecimento novo ocorre a partir da influência de um conhecimento particularmente importante, e que já é pré-existente na estrutura cognitiva de um indivíduo, e com certo grau de segurança e distinção. Com essa influência recíproca, não é só o conhecimento novo que assume novos significados, mas o próprio conhecimento prévio também se torna mais farto, mais elaborado e com novos significados. Logo, a característica mais importante para uma aprendizagem significativa é a interação entre os conhecimentos prévios e novos.

Por sua vez, contrastando com a aprendizagem significativa, Ausubel define aprendizagem mecânica como uma aprendizagem que adquire novas informações com interações quase nulas com noções importantes existentes na base cognitiva de um indivíduo, ocorrendo assim um armazenamento de novas informações de forma arbitrária. Nesse caso, o conhecimento adquirido acaba sendo anexado à base cognitiva do indivíduo sem estabelecer

uma conexão com os conceitos subsunçores específicos e torna-se facilmente passível de esquecimento.

No entanto, a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica não ocorrem de forma totalmente polarizada e independente uma da outra. Isso porque os dois tipos de aprendizagens estão presentes em uma mesma linha ininterrupta, significando que não se pode pensar que a aprendizagem de um indivíduo é totalmente significativa ou exclusivamente mecânica. Desse modo, a aprendizagem é intermediária, possibilitando que uma aprendizagem inicialmente mais mecânica, por exemplo, passe de forma gradual para a aprendizagem significativa.

Outra diferenciação fundamental é entre a aprendizagem por descoberta e a aprendizagem por recepção.

Segundo Ausubel, na aprendizagem por recepção o que deve ser aprendido é apresentado ao aprendiz em sua forma final, enquanto que na aprendizagem por descoberta o conteúdo principal a ser aprendido é descoberto pelo aprendiz. Entretanto, após a descoberta em si, a aprendizagem só é significativa se o conteúdo descoberto relacionar-se a conceitos subsunçores relevantes já existentes na estrutura cognitiva. Ou seja, por recepção ou descoberta a aprendizagem é significativa, segundo a concepção ausubeliana [...]. (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 19).

A estrutura cognitiva abrigaria, então, um conjunto de subsunçores com suas inter-relações. Essa disponibilidade de subsunçores oportunos é essencial para a aprendizagem significativa, mas não suficiente, pois o indivíduo deve ter um desejo de realizar uma conexão entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios – a dimensão intencional do ensino e da aprendizagem.

Para que ocorra o desenvolvimento de conceitos subsunçores, no intuito de facilitar a aprendizagem posterior, Ausubel propõe o uso de organizadores prévios, que são materiais introdutórios apresentados antes do próprio material a ser aprendido, para auxiliarem na fixação de uma nova aprendizagem. Assim, tais materiais se destinam a manipular a estrutura cognitiva, estruturando os subsunçores e auxiliando no desenvolvimento da aprendizagem significativa.

Segundo Ausubel, a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa. Ou seja, os organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como ‘pontes cognitivas’. (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 21).

Os organizadores prévios têm como vantagem possibilitar ao professor acompanhar pela estrutura cognitiva do aprendiz o desenvolvimento das características de um subsunçor, ao

- a) identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material;
- b) dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes;
- c) prover elementos organizacionais inclusivos, que levem em consideração mais eficientemente, e ponham em melhor destaque, o conteúdo específico do novo material. (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 22).

A aprendizagem significativa se classifica em três, segundo Ausubel: aprendizagem representacional, aprendizagem de conceitos e aprendizagem proposicional.

O tipo mais fundamental da aprendizagem significativa é o representacional, pois os demais tipos dependem dele. Esse tipo implica na oferta de significados para determinados símbolos, tendo como característica as palavras, isto é, reconhecendo o significado de símbolos que dizem respeito a objetos, conceitos e eventos.

Já o tipo de aprendizagem de conceitos é considerado como uma aprendizagem representacional, por ser também representado por símbolos particulares de forma decisiva, retratando regularidades em eventos ou objetos.

Ao contrário da aprendizagem representacional, o que ocorre na aprendizagem proposicional é o aprendizado do significado de ideias em forma de proposição, ou seja, permite expressar verbalmente, por meio de conceitos pré-existentes, o significado das ideias por uma forma de enunciação. É nessa forma de aprendizagem que se dá o encontro entre a perspectiva de Lipman e aquela de Ausubel.

Esse encontro entre essas duas teorias é essencial para que o processo de aprendizagem ocorra de forma criteriosa e objetiva. Isso porque, como salientam Silva Filho e Ferreira (2018, p. 108), “Ausubel descreve processos psicológicos abstratos, sem fazer referência a metodologias específicas que possam ser adotadas no âmbito da sala de aula de modo a implementar a aprendizagem significativa”. Daí a contribuição da Teoria da Educação de Lipman, ao apresentar as metodologias que faltam àquela, a fim de assegurar que a aprendizagem se consolide de tal modo que o estudante seja capaz de aprender suficientemente o “novo” significado, o que o torna capaz de expressá-lo por meio de uma enunciação melhor elaborada e com conhecimentos mais profundos do que os pré-existentes.

As metodologias apresentadas por Lipman são importantes para a consolidação da aprendizagem proposicional – apresentada por Ausubel – sobretudo porque valorizam o pensamento, por “[...] considerar o raciocínio um elemento fundamental [...] para o

desenvolvimento da ética, da codificação de experiências, da justificação de crenças, do desenvolvimento de processos de generalização, entre outros [...]” (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 122). É por isso que o pensamento se torna o elemento central da Filosofia de Lipman, que fundamenta sua Teoria da Educação.

A partir do momento em que a aprendizagem significativa ocorre em um indivíduo, conceitos são desenvolvidos, organizados e distinguidos em decorrência de sucessivas interações. Ao planejar o conteúdo, Ausubel leva em consideração o princípio da diferenciação progressiva, ou seja, no começo convém apresentar as ideias mais comuns e abrangentes da disciplina para que possam ser progressivamente diferenciadas, em termos de particularidades e exclusividades.

A elaboração do conteúdo não deve apenas destacar a diferenciação progressiva, mas também pesquisar, claramente, conexões entre proposições e conceitos, harmonizar contradições tangíveis ou fictícias tomando-se precaução para distinções e semelhanças importantes. Para Ausubel, essa síntese que chama de reconciliação integrativa, é mesmo uma antítese à prática usual dos livros de texto, ávidos em separar ideias e tópicos em capítulos e seções.

Portanto, tem-se que

diferenciação progressiva é o princípio pelo qual o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes e, progressivamente diferenciadas, introduzindo os detalhes específicos necessários. Essa ordem de apresentação corresponde à sequência natural da consciência, quando um ser humano é espontaneamente exposto a um campo inteiramente novo de conhecimento. [A] *reconciliação integrativa* é o princípio pelo qual a programação do material instrucional deve ser feita para explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças significativas, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 30).

Uma das maiores responsabilidades do docente é facilitar ao aluno o entendimento por completo da estrutura das matérias de ensino propiciando a reorganização da sua estrutura cognitiva pela obtenção de novos significados, que podem dar origem a conceitos e princípios. Ausubel entendia que a principal dificuldade da aprendizagem se encontra em obter uma estruturação do conhecimento e uma solidificação das ideias.

Já na sala de aula, o problema da aprendizagem está na manipulação de recursos que auxiliem a levar a estrutura conceitual do conteúdo a ser espelhada na estrutura cognitiva do aluno. Como elemento subsidiário disso, propõe-se a construção de mapas conceituais, ferramenta que têm por finalidade tornar o material potencialmente mais significativo.

Mapas conceituais são diagramas que mostram relações entre conceitos, em uma interpretação mais abrangente. No entanto, podem ser observados como diagramas hierárquicos que buscam considerar a organização conceitual de uma matéria ou parte dela. Assim sendo, a condição para o mapa conceitual existir é a de estar representando a estrutura conceitual de uma matéria.

Os mapas conceituais *a priori* podem adotar uma, duas ou mais dimensões. Mapas unidimensionais, por serem simples, apenas mostram de forma rudimentar a organização conceitual de uma disciplina ou subdisciplina. São mapas que apenas exibem listas de conceitos para uma apresentação organizacional de forma linear e vertical. Ao contrário, os mapas bidimensionais, admitem uma representação mais completa das interações entre os conceitos de uma disciplina, usando não somente a dimensão vertical, mas também a horizontal. Já os “mapas com mais de três dimensões, não seriam mais representações concretas de estruturas conceituais, e sim abstrações matemáticas de limitada utilidade para fins instrucionais” (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 51).

2.3 Lipman e Ausubel no Ensino de Ciência

Segundo Lipman, a filosofia pode exercer função interdisciplinar na medida em que permeia os vários fazeres científicos, tanto nos seus fundamentos epistemológicos, quanto nas suas historicidades. Com isso, pode proporcionar o crescimento das habilidades cognitivas do aluno, ao mesmo tempo em que funciona a serviço das disciplinas como fonte alternativa de subsunções, entendidos já na perspectiva ausubeliana.

O Programa de Filosofia para Crianças e Adolescentes de Lipman busca incentivar a construção de um raciocínio logicamente harmonizado, elaborado, que desenvolva mecanismos consistentes para propiciar comportamentos que levem ao questionamento, concentração, desenvoltura e autossuficiência do indivíduo. Considera o pensamento como sendo um ingrediente essencial para o aperfeiçoamento da ética, de metodologias de universalização, do esclarecimento de opiniões, da codificação de experiências, dentre outras. Essa manipulação do conhecimento que está sendo ensinado, na perspectiva de uma abordagem diacrônica, em que está envolvida uma comunidade de investigação, é o fator fundamental para se atingir uma dimensão verdadeiramente significativa da aprendizagem, como preconizada por Ausubel.

A abordagem sugerida pelo Programa de Filosofia para Crianças e Adolescentes define-se como uma Teoria Educacional e, como tal, estabelece normas e procedimentos que

visam a alcançar metas estabelecidas pela abordagem de Ausubel, ou seja, um aprendizado significativo. Sendo uma teoria cognitiva, assim como a de Ausubel, tem o seu alicerce no conceito de pensamento, fundado em uma estrutura cognitiva subjacente, e nas habilidades que lhe são precípuas e a que se propõe a desenvolver. Argumenta-se, ainda, que tal abordagem propicia um aumento do conhecimento intelectual por meio de uma reflexão mais abrangente dos fenômenos abordados pela ciência e suas particularidades.

Quando os estudantes questionam os fatos que lhes são apresentados nas aulas de ciências, seu comportamento está totalmente de acordo com o espírito do empreendimento científico. Além do mais, a estrutura mental filosófica é essencial como um antídoto para o dogmatismo científico e como fonte de ideias novas e provocativas que devem ser aprofundadas pelas investigações científicas. (LIPMAN; SHARP; OSCANYAN, 2014, p. 167-168).

Sendo assim, Lipman acreditou na combinação de três pensamentos para que os estudantes alcançassem o “Pensamento de Ordem Superior”, que são o Pensar Crítico, o Pensar Criativo e o Pensar Cuidadoso.

O Pensar Crítico diz respeito à nossa habilidade de analisar, ou seja, é o que nos auxilia nas soluções de situações adversas, nas decisões escolhidas e no conhecimento de novos princípios. O Pensar Criativo é um tipo de pensamento engenhoso que procura caminhos para alcançar o objetivo, tendo motivações decorrentes das sensações ou invenções. Dessa forma, atribui um papel de reforço ao Pensar Crítico por ser um tipo de raciocínio ampliativo.

Já o Pensar Cuidadoso é aquele que antecede a realização de condutas, sempre valorizando a importância daquilo que a pessoa aprecia e considera útil na elaboração do raciocínio.

Como bem apresentam Silva Filho e Ferreira (2018), o desenvolvimento do pensamento – a partir da articulação desses três tipos de pensamento – é que pode levar ao Pensamento de Ordem Superior, marcado pela **riqueza conceitual, estrutural e investigativa**. Essas características são igualmente importantes tanto para o desenvolvimento da própria Ciência quanto no seu ensino.

Silva Filho e Ferreira (2018) lembram que algumas habilidades lógicas/cognitivas são necessárias para que ocorra o Pensamento de Ordem Superior:

1. Habilidade de raciocínio: capacidade de haurir conclusões ou inferências a partir de conhecimentos prévios, de modo a garantir coerência e sistematicidade ao discurso;

2. Habilidade de formação de conceitos: capacidade de identificar vínculos conceituais e estabelecer relações entre conceitos, formando conceitos mais complexos;
3. Habilidade de investigação: capacidade de alcançar as soluções dos problemas postos pela realidade, estando fortemente relacionada com a capacidade de adotar o método científico;
4. Habilidade de tradução: capacidade de compreensão e reprodução, em sua própria linguagem, de discursos escritos ou falados. (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018, p. 113).

Tais habilidades se efetivam, portanto, por intermédio da proposta das comunidades de investigação, em que os estudantes são protagonistas. Tais comunidades são fundamento do desenvolvimento dos subsunçores de cada indivíduo em um processo natural (e não artificialmente construído) de sucessiva autocorreção, via diálogo e contato com perspectivas diversas. Nesse sentido, as comunidades de investigação funcionam também como organizadores prévios dos subsunçores que elas mesmas permitem vir à tona, em um processo contínuo.

A relação fundamental entre Ausubel e Lipman como fundamento teórico do trabalho ocorre no processo dialético que se forma entre as aprendizagens significativas dos vários temas, em sua vertente analítica, e as sucessivas sínteses produzidas pela estrutura cognitiva a partir do uso das habilidades já mencionadas.

De fato, esse processo de diálogo tem a responsabilidade de reconduzir os pontos de vista dos estudantes quando entram em contato com interpretações contrárias às suas, levando a um esforço inovador e questionador por parte desses estudantes, não apenas para sustentar suas ideias, mas também para acolher opiniões opostas às suas. O professor tem a atribuição de desenvolver os importantes organizadores prévios, expressos na teoria de Ausubel, tornando-se, assim, peça fundamental dessa metodologia.

O Programa de Filosofia para Crianças e Adolescentes, ao tratar com diversas dúvidas que as crianças e adolescentes espontaneamente possuem a respeito de suas típicas experiências de vida, fornece as condições que proporcionam que a instrução científica continue sendo significativa para eles, preservando o nível de curiosidade que uma educação científica de êxito deva preservar, ao mesmo tempo em que produz o elemento de engajamento que suscita o interesse por aprender, explicitamente elencado por Ausubel como fundamental no processo de aprendizagem.

A aprendizagem significativa, por sua vez, acaba oferecendo, no ambiente do ensino em ciências, aos docentes e discentes, possibilidades de contextualização dos conhecimentos científicos, originando um aprendizado verdadeiro e tornando o discente capaz de traçar sua própria formação. Cada aprendizagem significativa de um determinado assunto contribui,

portanto, para a construção mais ampla do pensamento de ordem superior dos alunos, ao suscitar o desenvolvimento das habilidades precípua desse tipo de pensamento.

Nesse contexto, os subsunçores, assim como os novos saberes, pelo processo de assimilação e pelas três variedades de aprendizagem desenvolvidas pelo estudante, são postos em movimento especificamente pelas comunidades de investigação. Para que os subsunçores alcancem efetividade, o diálogo deve ter sempre a mediação do professor:

Nesse processo dialógico, o papel do professor é essencial, visto que cabe a ele estabelecer direcionamentos que estruturam tal processo de modo a se obter, ao final, uma ou mais concepções adequadas, segundo a perspectiva do Pensamento de Ordem Superior, para o fenômeno em discussão. Proceduralmente, o papel do professor é o de construir, na diacronia dialógica, os necessários organizadores prévios, em linguagem Ausubeliana. Importante ressaltar, entretanto, que esse elemento de intervenção deve ser realizado de dentro da Comunidade de Investigação, não de seu exterior, a partir da autoridade do professor. (SILVA FILHO; FERREIRA, 2018).

A abordagem da aprendizagem significativa de Ausubel – ao defender que o processo de assimilação ocorre por meio de dois procedimentos que se conectam, que são a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa – sugere que o processo de desenvolvimento estabelecido pelas comunidades de investigação seja complementado pelo professor com uma síntese dos resultados dos debates.

Os mapas conceituais auxiliam de forma inteligente a aprendizagem significativa no ensino de ciências ao mesmo tempo em que instigam as habilidades necessárias para o desenvolvimento de um pensamento de ordem superior. Importante frisar que, em uma abordagem verdadeiramente interdisciplinar, tais mapas irão conter tanto conceitos da Filosofia, quanto conceitos da Física, especificamente. Isso permite, a cada aluno, diferentes e mais numerosas vias de entrada no conhecimento que se deseja ensinar, a Filosofia, podendo servir como elemento essencial no processo de organização prévia dos subsunçores.

Essas modificações estimuladas na estrutura cognitiva dos estudantes são evidenciadas quando observada a substituição dos pontos fracos e duvidosos, referente ao ensino de ciências, pela complexidade na composição dos mapas e na produção de maiores inter-relações, levando o estudante a examinar com maior profundidade as questões propostas no processo de ensino e aprendizagem.

Do ponto de vista da atividade docente para o ensino de ciências, os mapas conceituais potencializam a aprendizagem significativa, de modo que o professor auxilie o aluno, para que este consiga discernir os diferentes tipos de conteúdos necessários à conclusão do curso e para que conserve o foco e o zelo enquanto os novos conhecimentos lhe são ensinados. Os

mapas conceituais propiciam, ainda, o desenvolvimento de um novo aprendizado com o auxílio que a prévia identificação dos conhecimentos do estudante pode oferecer.

Do ponto de vista instrucional, dentre as possíveis vantagens do uso de mapas conceituais, destacam-se:

- 1) Enfatizar a estrutura conceitual de uma disciplina e o papel dos sistemas conceituais no seu desenvolvimento;
- 2) Mostrar que os conceitos de certa disciplina diferem quanto ao grau de inclusividade e generalidade, e apresentar esses conceitos numa ordem hierárquica de inclusividade que facilite a aprendizagem e a retenção dos mesmos;
- 3) Prover uma visão integrada do assunto e uma espécie de “listagem” daquilo que foi abordado nos materiais instrucionais (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 56-57).

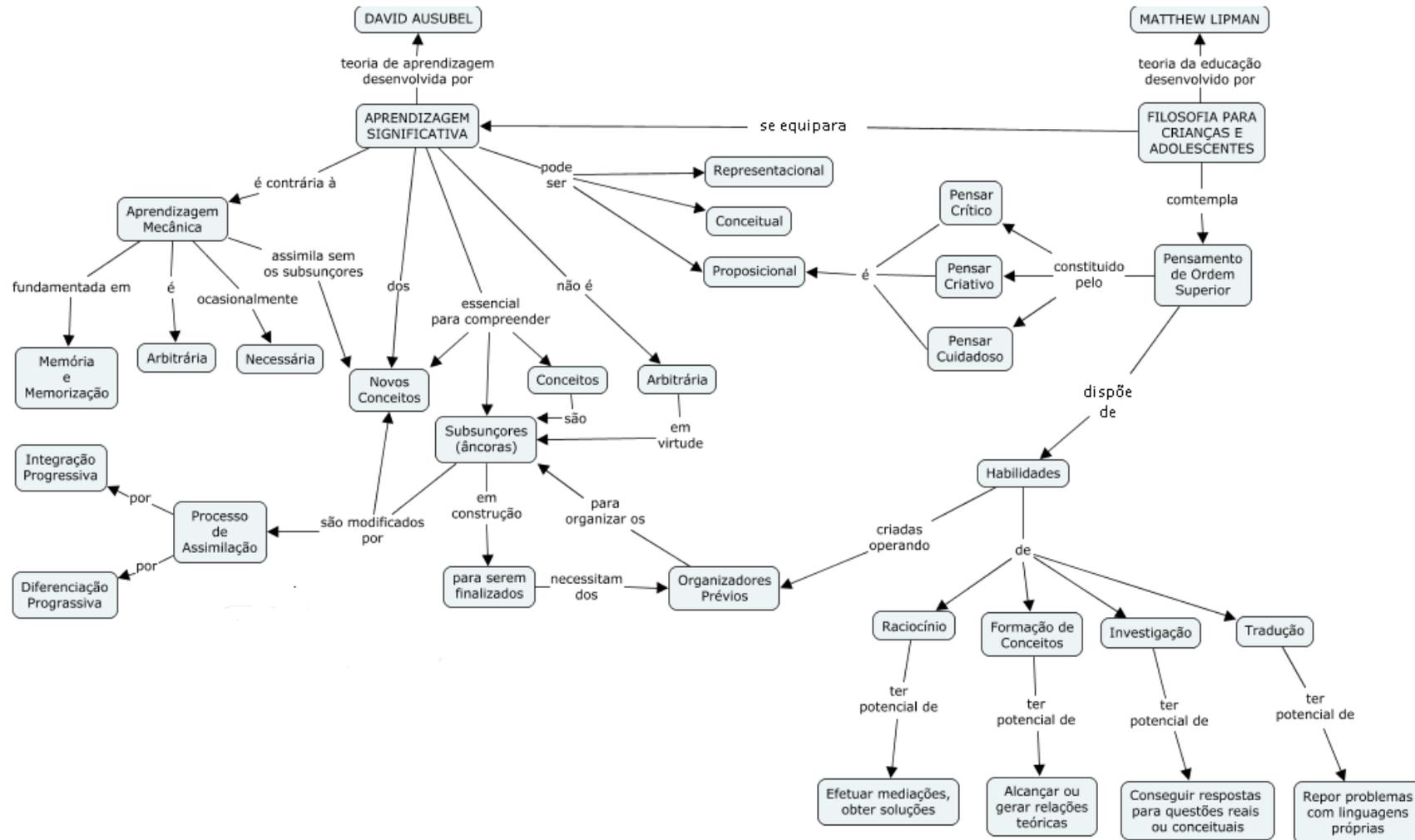
A aprendizagem significativa é um componente pedagógico importante na educação científica, pois possibilita que professores e alunos revejam e reajustem a relação entre si, propiciando uma participação mais ativa para a composição do conhecimento, que é o produto final a ser conquistado. Entretanto, a finalidade fundamental de tal educação é a formação, em caráter sintético, de um pensamento de ordem superior, alicerçado, na abordagem que propomos nesses momentos analíticos de aprendizagem significativa.

Silva Filho e Moreira fornecem ainda as bases em que se deve ocorrer essa conexão entre as teorias de Ausubel e de Lipman:

Desse modo, é possível pensar em um *contínuo* epistemológico que vai das Teorias Psicológicas de Aprendizagem, em uma dimensão de justificação, até as Teorias Educacionais, em uma dimensão axiológica que sugere abordagens ou estratégias com vistas a concretizar o que se afirma no âmbito puramente psicológico. Trata-se de um contínuo justamente por já haver, mesmo nas teorias psicológicas, uma dimensão axiológica menos abrangente, não se tratando, de fato, de uma clivagem entre ambas as dimensões teóricas. (SILVA FILHO; MOREIRA, 2018, p. 123, grifo do autor).

A relação entre a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e o Programa de Filosofia para Crianças e Adolescentes de Lipman é apresentada no mapa conceitual da Figura 1.

Figura 1 – Mapa conceitual de conexão entre a Teoria de Aprendizagem de Ausubel e a Teoria da Educação de Lipman



Fonte: Do próprio autor.

2.4 A interdisciplinaridade entre o Ensino de Física e a Filosofia

No Brasil, Hilton Japiassu se tornou em 1976 o primeiro a publicar uma obra expressiva sobre o tema interdisciplinaridade. Esse autor defende a ideia de que a interdisciplinaridade se determina pela veemência das transferências de conhecimentos dos professores e pelo nível de comunicação entre as disciplinas. Autores como Delizoicov e Angotti (1990), assim como Fazenda (1993), posicionam-se em concordância com o pensamento de Japiassu.

Fazenda (1993) bem esclarece que

a interdisciplinaridade respeita a especificidade de cada área do conhecimento, isto é, a fragmentação necessária no diálogo inteligente com o mundo e cuja gênese encontra-se na evolução histórica do desenvolvimento do conhecimento. [...]. Ao invés do professor polivalente, a interdisciplinaridade pressupõe a colaboração integrada de diferentes especialistas que trazem a sua contribuição para a análise de determinado tema. (FAZENDA, 1993, p. 13).

Para que o professor e o aluno compreendam a essência motivadora da interdisciplinaridade no início do ensinamento, deve-se salientar que as disciplinas devem se portar de maneira incorporada para que possam se organizar de forma científica. Como consequência, a interdisciplinaridade na prática proporciona aos docentes e discentes a contextualização dos vários conteúdos, aprimorando e impulsionando o pensamento, como também entende Silva (2015).

Com esse propósito de buscar constantemente a pesquisa e tentar a superação do saber, a interdisciplinaridade oportuniza a percepção, e a assimilação das partes de ligação entre as diversas áreas de conhecimento, o encontro de ideias para transpor algo inovador, a edificação de sabedorias, o regate de possibilidades e superação do pensar fragmentado. Isso na finalidade de ampliar uma ligação entre o momento identificador de cada disciplina de conhecimento e o necessário corte diferenciador, não se tratando de uma simples deslocação de conceitos e metodologias, mas de uma recriação conceitual e teórica (PAVIANI, 2008).

No ensino interdisciplinar, almeja-se solucionar a sequência do currículo escolar, reestruturando-os de modo a livrar-se de um curso de lista pronta por série/ano, acarretando um comportamento que prioriza a abertura para um aprendizado participativo, mediado por conhecimentos diversificados e uma nova forma de pensar e agir. Torna-se assim, uma ponte para o melhor entendimento das disciplinas.

Podemos dizer que nos reconhecemos diante de um empreendimento interdisciplinar todas as vezes em que ele conseguir incorporar os resultados de várias especialidades, que tomar de empréstimo a outras disciplinas certos instrumentos e técnicas metodológicas, fazendo uso dos esquemas conceituais e das análises que se encontram nos diversos ramos do saber, a fim de fazê-los integrarem e convergirem, depois de terem sido comparados e julgados. (JAPIASSU, 1976, p. 75).

A integração do saber é o suporte essencial para que se promova a interdisciplinaridade sem que haja uma fragmentação do conhecimento. Exige a compreensão e aceitação de escolas, professores e alunos em absorver a junção dos eixos de integração envolvidos, de modo a promover uma transformação na forma de conceber o conhecimento, tornando-se inovador por permitir a ampliação do saber e do pensamento fragmentado.

Não que isso seja fácil de se colocar em prática. Oliveira (2016) identifica que mesmo em cursos de licenciatura que se proclamam interdisciplinares apresentam dificuldade de romper com essa fragmentação. Por sua vez, Nogueira (2018) identifica que mesmo documentos oficiais como as DCNEM não se entendem acerca da interdisciplinaridade, ao empregá-la com sentidos diversos.

Em relação à interdisciplinaridade entre o ensino de Física e a Filosofia, pode-se afirmar que a conexão dessas duas matérias surge no contexto do ensino, pesquisa e extensão. Ocorre com o intuito de divulgar aos alunos uma ciência em estruturação, que ainda necessita atualmente de pessoas motivadas em expandir as discussões e de pesquisar informações. A relação entre o ensino de Física e a Filosofia torna-se significativa no âmbito de uma sala de aula que se organiza como comunidade de investigação, uma vez que suas conexões podem produzir mais debates sobre as relações científicas e, por exemplo, o universo da tecnologia moderna.

Entretanto, para que o significado científico seja mais bem compreendido, deve-se levar em conta também a perspectiva da compreensão do aluno em relação à Física como uma ciência em desenvolvimento, o que pode levar ao esclarecimento de conceitos.

Antes do século XVIII o descobrimento empírico e as teorias surgiam por perspectivas filosóficas sobre as estruturas naturais. Desde então, inclusive atualmente, os estudantes em geral costumam entender a ciência sob modelo experimental. Daí a importância de se romper com essa perspectiva polarizada, viabilizando a integração entre Física e Filosofia, como consequência do esforço cultural de racionalização da natureza.

Com o intuito de romper com perspectiva polarizada e segmentada do conhecimento, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM) apresentam a interdisciplinaridade como uma das soluções. Para as DCNEM:

A interdisciplinaridade pressupõe a transferência de métodos de uma disciplina para outra. Ultrapassa-as, mas sua finalidade inscreve-se no estudo disciplinar. Pela abordagem interdisciplinar ocorre a transversalidade do conhecimento constitutivo de diferentes disciplinas, por meio da ação didático-pedagógica mediada pela pedagogia dos projetos temáticos. (BRASIL, 2013, p. 28).

Além disso, as DCNEM ratificam a compreensão de que todo conhecimento mantém permanentes diálogos com outros conhecimentos. Ao prescrever a organização curricular em 3 (três) áreas do conhecimento, com o objetivo de, no mínimo, aproximar as disciplinas de cada área. Essas áreas são: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias (nesta área se encontra a disciplina de Física); Ciências Humanas e suas Tecnologias; e Linguagens, Códigos e suas Tecnologias.

Ao integrar as respectivas tecnologias a cada área, as DCNEM buscaram mostrar que as tecnologias deveriam estar integradas a cada área e suas respectivas disciplinas, a fim de favorecer esse diálogo e a troca metodológica entre os conhecimentos próprios da tecnologia e os de cada disciplina. Esse diálogo e essa troca metodológica entre os conhecimentos demanda também uma perspectiva inter-relacional e contextual, sem os quais o professor não alcançaria a interdisciplinaridade em seu trabalho educativo.

Apesar de alguns conflitos conceituais, como identifica Nogueira (2018), as DCNEM exercem importante papel na busca pelas políticas educativas interdisciplinares das escolas. Em 2017, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), com o intuito de oferecer alguns subsídios à construção do currículo de cada sistema e de suas respectivas escolas, destaca que uma das decisões que caracterizam o currículo em ação é:

- decidir sobre formas de organização interdisciplinar dos componentes curriculares e fortalecer a competência pedagógica das equipes escolares para adotar estratégias mais dinâmicas, interativas e colaborativas em relação à gestão do ensino e da aprendizagem; (BRASIL, 2017, p. 16).

Embora a BNCC não tenha apresentado novidades quanto à interdisciplinaridade, segue orientação da Lei de Diretrizes e Bases (LDB/BRASIL, 1996) e apresenta o ensino médio organizado em 4 (quatro) áreas do conhecimento, a saber: Linguagens e suas Tecnologias; Matemática e suas Tecnologias; Ciências da Natureza e suas Tecnologias; e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas.

Cada área do conhecimento se caracteriza em particular por possuir suas competências, a serem alcançadas com o desenvolvimento de habilidades específicas. A BNCC explicita que algumas habilidades de uma área podem contribuir para a aquisição de habilidades de outra área e, portanto, favorecer a aquisição de competência de outra área do conhecimento (BRASIL, 2017).

As competências que a BNCC (BRASIL, 2017) estabelece para a área do conhecimento “Ciências da Natureza e suas Tecnologias” no ensino médio são:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.
2. Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.
3. 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, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Como se pode observar, a presente pesquisa incide, de forma mais ou menos direta, sobre as três competências de nossa área do conhecimento e várias de suas habilidades, mas se relaciona mais diretamente à Competência 1, na terceira habilidade (EM13CNT103¹): “Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica” (BRASIL, 2017, p. 545).

Embora essa habilidade trate especificamente das radiações, faz-necessário ressaltar que o que está em questão não é apenas o conteúdo, mas a habilidade que se apresenta a partir da aquisição do conhecimento expresso no conteúdo. Desse modo, a habilidade de avaliar as potencialidades e os riscos exigem um conhecimento de fundamentos próprios também área da saúde/medicina, por exemplo, e a capacidade de pensamento incutida no julgamento, contemplada pela Filosofia, especificamente em Lipman (1990; 1995; 2000).

¹ Esse é o código de identificação desta habilidade.

3 TEORIA QUÂNTICA DA RADIAÇÃO

A Teoria Quântica foi a base da Física do século XX, que deu origem a uma nova construção científica, conduzindo à mudança de parâmetros em ramos como o da Filosofia da Ciência. Apesar de ser vasto o entendimento da aplicabilidade da teoria quântica, seu começo nos reporta a algo muito específico: um trabalho de Max Planck dedicado à explanação de aspectos fundamentais da distribuição das intensidades de energia em função da frequência (ou comprimento de onda) e da temperatura.

Neste capítulo pretendemos situar historicamente as investigações em relação à chamada “radiação do corpo negro”, partindo do contexto arquitetado por Gustav Robert Kirchhoff e percorrendo algumas hipóteses que resultaram na Lei de Planck.

3.1 Corpo Negro e Radiação de Cavidade

Durante o século XIX, a iluminação noturna das grandes cidades europeias passou a ser assegurada pelo fornecimento de energia elétrica e a gás. Buscando encontrar o material mais eficaz para tal finalidade, os físicos da época se depararam com um dos maiores desafios científicos daquele tempo: a compreensão do espectro de radiação emitido por corpos incandescentes.

O movimento arbitrário dos átomos que compõem um corpo é responsável por originar a radiação térmica, que, antes de atingir a superfície, é absorvida e emitida diversas vezes, tendendo ao equilíbrio térmico com os átomos. O resultado desse processo complexo é um aspecto contínuo do espectro de emissão.

As características das superfícies do corpo estão diretamente interligadas com a emissão dessa radiação, que pode levar à obstrução de ondas eletromagnéticas em seu interior. De certo modo, podemos considerar a relação restrita entre a característica de emissão de um corpo e seu potencial de absorção, que pode ser provada pelos princípios fundamentais da termodinâmica.

Assim, a busca por respostas acerca da radiação por corpos incandescentes levou vários físicos da época a se dedicarem ao estudo experimental e teórico da radiação térmica. A análise dos estudos e a explicação teórica dos resultados experimentais trouxeram uma situação de muito difícil explicação, que culminou na hipótese de quantização da energia.

Empenhando-se para conseguir um modelo teórico que levasse o entendimento das análises dos trabalhos experimentais sobre a proporção entre a potência de emissão e a potência de absorção da radiação dos corpos aquecidos, o físico alemão Gustav Robert

Kirchhoff propôs, em 1859, o conceito de corpo negro, como sendo um corpo ideal que absorve toda a radiação que incide sobre ele.

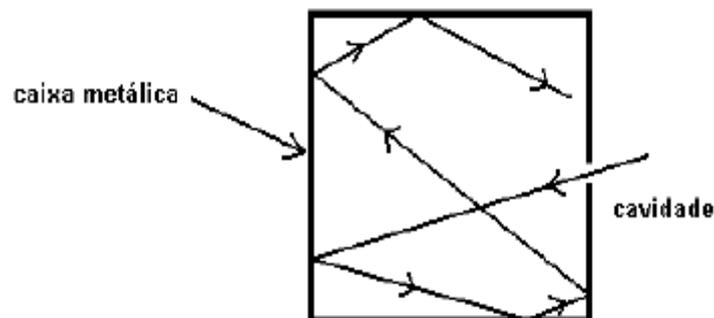
Para um melhor entendimento desse conceito, consideremos que todo corpo a uma temperatura emite radiação térmica e essa radiação dispõe de uma distribuição espectral, que, dependendo da natureza desse corpo, apresentará um ou mais picos de frequência máxima. Chegou-se à conclusão de que a emissão de radiação por corpos diferentes resulta em espectros diferenciados.

Entretanto, um corpo negro é um corpo ideal e seu espectro da radiação depende somente da sua temperatura, ou seja, todos os corpos negros, estando à mesma temperatura T , emitem radiação térmica com o mesmo espectro, independentemente de suas características particulares.

Se a definição teórica é suficientemente clara, sua representação concreta não se mostra tão simples assim. Kirchhoff sugeriu uma possibilidade que se tornou modelo para se reproduzir, como exemplo, uma cavidade com algumas características específicas.

Para simular essa cavidade com algumas características específicas (corpo negro), utiliza-se comumente uma caixa metálica com paredes à mesma temperatura e com um pequeno orifício onde o raio incide, realizando sucessivas reflexões nas paredes e sendo absorvido. Essas condições tornam a caixa em um corpo com características ideais de absorção, como em um corpo negro, ao que se tornou conhecida como “radiação de cavidade”. A Figura 2 ilustra bem essa simulação:

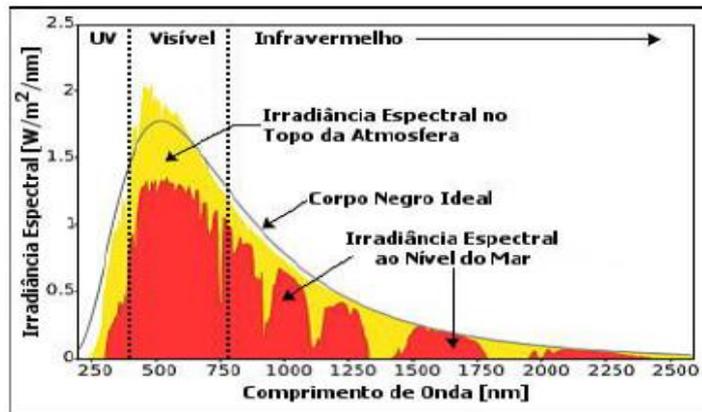
Figura 2 – Caixa metálica com um pequeno orifício: representação prática de um corpo negro conforme o modelo de Kirchhoff



Fonte: Attux, Cruz e Soriano (2012, p. 3).

Já a Figura 3, a seguir, exibe o espectro da radiação emitida pelo Sol, em amarelo, representando os raios chegando na extremidade da atmosfera; e, em vermelho, os raios ao nível do mar.

Figura 3 – Espectro de radiação do Sol



Fonte: http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html

Observa-se que nas duas informações o espectro é contornado por um espectro ideal (linha contínua), demonstrando que o Sol, assim como outras estrelas, também é um bom exemplo de corpo negro.

3.2 Teorema de Kirchhoff

Para que se possa relatar a contribuição significativa de Kirchhoff de forma mais minuciosa, adota-se $R_f df$ a quantidade de energia emitida pelo corpo negro por unidade de área e unidade de tempo, no intervalo delimitado pelas frequências f e $f + df$. No entanto, pode-se compreender R_f , radiância espectral, como sendo uma espécie de densidade de energia emitida para uma dada frequência. Dessa maneira, a função é escrita da seguinte maneira:

$$R_f = R_f(f, T) , \quad (3.1)$$

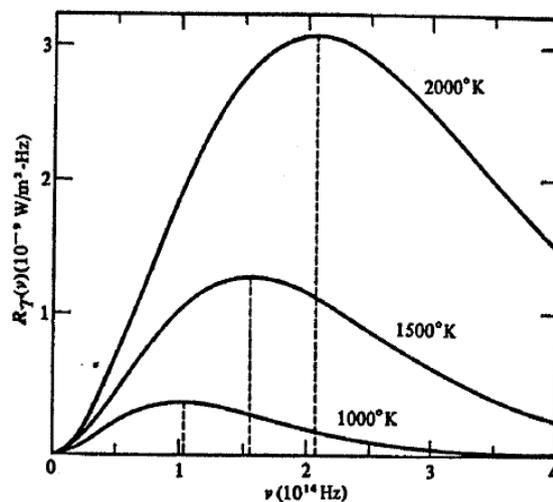
onde f é a frequência da radiação e T é a temperatura do corpo negro. Apresentar tal correlação para uma formulação tão simples já é uma contribuição extraordinária, muito embora Kirchhoff não imaginasse a influência de seus estudos para o futuro da ciência.

3.3 Lei de Stefan-Boltzmann

No ano de 1899, Lummer e Pringsheim fizeram as primeiras medições precisas com o manuseio de um instrumento bem semelhante aos espectrômetros utilizados nas medidas de espectros óticos, mas se diferenciando nos equipamentos especiais, que eram essenciais para que lentes, prismas e outros fossem translúcidos à radiação térmica de frequência relativamente baixa.

A Figura 4 demonstra a correlação observada experimentalmente de R_f em f e T :

Figura 4 – Radiância espectral de um corpo negro em função da frequência da radiação – temperaturas de 1000 K, 1500 K e 2000 K



Fonte: Eisberg e Resnick (2001, p. 21).

A integral da radiância espectral R_f sobre todas as frequências f é a energia total emitida por unidade de tempo, por unidade de área, por um corpo negro à temperatura T , é dita R_{Total} , isto é:

$$R_{total} = \int_0^{\infty} R_f df \quad (3.2)$$

Como demonstra a Figura 4, R_f prolonga-se rapidamente com o aumento da temperatura. Esse resultado foi apresentado pela primeira vez em 1879, por Josef Stefan, que levou em consideração a definição do corpo negro declarada por Kirchhoff e anunciou uma lei empírica que determinava que a energia total irradiada (R_{Total}) por unidade de área superficial de um corpo negro era diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura, chamada de lei de Stefan.

$$R_{total} = \sigma T^4, \quad (3.3)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ chamada de constante de Stefan-Boltzmann.

A Figura 4 permite mais uma conclusão: o espectro se desloca para maiores frequências na medida em que a temperatura T aumenta. Esse resultado foi analisado por Ludwig Boltzmann, em 1884, para explicar teoricamente a lei de Stefan a partir da proposta de unir as ideias de Maxwell sobre fenômenos eletromagnéticos e sua conexão com a radiação, com a termodinâmica.

3.4 Lei de deslocamento de Wien

Em 1893, Wihelm Wien, examinando o método proposto por Boltzmann e a lei de Stefan, propôs o que hoje é conhecido como lei de deslocamento de Wien, que caracteriza a frequência máxima irradiada por um corpo negro a uma dada temperatura.

Para encontrar a função desejada, ela deve ser composta pelo produto entre um termo cúbico e uma função da razão entre f e T .

$$E_{\lambda}(f, T) = f^3 F(f/T). \quad (3.4)$$

O trabalho experimental não se direcionava para a busca de $E_f(f, T)$, e sim para $E_{\lambda}(\lambda, T)$, pois desde os primeiros experimentos abrangendo o conteúdo da radiação de cavidade, mostrava-se que E_{λ} tinha um máximo determinado como comprimento máximo de onda ($\lambda_{\text{máx}}$) e que ele diminuía com a temperatura. Para a análise da radiância em termos de comprimento de onda, considera-se a função E_f como a densidade de energia para um intervalo de df . No entanto, por analogia temos:

$$E_f(f, T)df = E_{\lambda}(\lambda, T)d\lambda. \quad (3.5)$$

Como $\lambda = c/f$, tem-se:

$$d_f = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) d_{\lambda}. \quad (3.6)$$

O sinal negativo indica que o aumento do comprimento de onda significa uma diminuição em frequência e vice-versa, portanto:

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) E_f(f, T). \quad (3.7)$$

Ao inserir a equação 3.7 na equação 3.4, obtém-se:

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) f^3 F\left(\frac{c}{\lambda T}\right)$$

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(-\frac{c}{\lambda^2}\right) \left(\frac{c^3}{\lambda^3}\right) F\left(\frac{c}{\lambda T}\right)$$

A lei do deslocamento pode, então, ser escrita como:

$$E_{\lambda}(\lambda, T) = \left(\frac{c^4}{\lambda^5}\right) F\left(\frac{c}{\lambda T}\right) \quad (3.8)$$

Como se considerou uma variação $d\lambda$ positiva, despreza-se o sinal negativo. Derivando o termo E_{λ} em relação ao λ , e igualando o resultado a 0, obtêm-se o comprimento de onda de emissão máxima.

$$\frac{c^4}{\lambda^5} \left\{ \frac{-5}{\lambda} F\left(\frac{c}{\lambda T}\right) - \frac{c}{\lambda^2 T} F'\left(\frac{c}{\lambda T}\right) \right\} = 0. \quad (3.9)$$

Percebe-se que o máximo, caso exista, obedecerá à restrição.

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = b \quad (3.10a)$$

Esta é a forma pela qual $\lambda_{m\acute{a}x}$ se desloca de maneira inversamente proporcional à temperatura do corpo, sendo b a constante de dispersão de Wien, cujo valor é igual a $2,898 \times 10^{-3}$ m.K. A expressão (3.10) pode ser escrita em termos da frequência como sendo

$$f_{m\acute{a}x} = a T, \quad (3.10b)$$

em que a igual a $5,88 \cdot 10^{10}$ Hz/K. Quando T aumenta, $f_{m\acute{a}x}$ se desloca para frequências mais altas.

A seguir, a Tabela 1 apresenta alguns valores de frequência máxima de um corpo negro sob diferentes temperaturas e a respectiva faixa no espectro eletromagnético:

Tabela 1 – Lei de deslocamento de Wien

Lei de Wien		
Temperatura (°C)	$\nu_{m\acute{a}x}$ (Hz x 10^{13})	Cor
20	1,7	Infravermelho
500	4,5	Vermelho
700	5,7	Verde
1000	7,5	Violeta

Fonte: Perez (2016, p. 18).

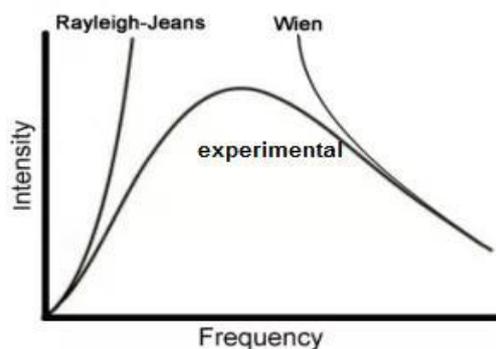
Percebe-se na Tabela 1 que a $f_{\text{máx}}$ desloca de maneira diretamente proporcional à temperatura do corpo. Essa tabela ilustra que corpos a baixas temperaturas possuem baixas frequências e, conseqüentemente, emitem menor energia, de modo que se mantém na faixa infravermelha do espectro eletromagnético. Porém, na medida em que a temperatura vai aumentando, os corpos se deslocam para a faixa de luz visível, e, na continuidade desse aumento de temperatura pode atingir a faixa de ultravioleta no espectro eletromagnético. Logo, a faixa de maior frequência e temperatura para o estudo da radiação dos corpos negros é a faixa ultravioleta.

3.5 Elucidação de Planck para a Catástrofe do Ultravioleta

Até esse momento, havia ocorrido, em relação à radiação do corpo negro, um avanço grandioso nos estudos. Porém, os dados experimentais não se equivaliam totalmente à teoria, apresentando uma discrepância grave, chamada de “Catástrofe do Ultravioleta”.

A equação de Rayleigh era válida apenas para altos comprimentos de onda e baixas frequências, já a equação de deslocamento de Wien tinha sua funcionalidade apenas para baixos comprimentos de onda e altas frequências; como solucionar essa incógnita? A seguir, a Figura 5 apresenta uma comparação entre a visão desses dois pesquisadores:

Figura 5 – Comparação da radiação do corpo negro para Wien e Rayleigh



Fonte: Guimarães (2018, p. 28).

Max Karl Ernst Ludwig Planck, físico alemão, buscando decifrar tal problema, baseou-se no modelo de corpo negro relatado por Kirchhoff em 1860 e relacionou a oscilação dos átomos que constituíam as paredes do recipiente com a oscilação harmônica.

Ao fazer essa associação, Planck violou a lei de equipartição da energia na qual a teoria se baseava, modificando a ideia de quantidade de energia implementada pela Física Clássica, que determinava que os elétrons poderiam oscilar em qualquer valor de energia de

zero a um valor máximo. O grande problema dessa definição era que todos os resultados desencadeavam para a Catástrofe do Ultravioleta.

Planck, para justificar tal violação, defendeu o conceito de que a energia do elétron deveria ser quantizada, ou seja, a energia adquirida por cada elétron necessitaria variar em quantidades inteiras e que essa energia resultaria apenas da frequência de oscilação das moléculas. Surgiu nessa época, com o postulado de Planck, o conceito de *quantum*, ao que “[...] a troca seria quantizada: um oscilador de frequência ν só poderia emitir ou absorver energia em múltiplos inteiros de um *quantum* de energia” (NUSSENZVEIG, 1998, p. 247).

Planck confessou mais tarde que só foi levado a formular esse postulado por ‘um ato de desespero’, dizendo: ‘era uma hipótese puramente formal, e não lhe dei muita atenção, adotando-a porque era preciso, a qualquer preço, encontrar uma explicação teórica’. (NUSSENZVEIG, 1998, p. 247).

A lei de equipartição da energia dizia que a energia média \bar{E} tem seu valor relacionado de forma independente ao valor da frequência. Planck descobriu que a energia média das ondas estacionárias é uma função da frequência $\bar{E}(f)$ nas condições de radiação do corpo negro, de modo que essa descoberta contrariou a lei de equipartição.

Eisberg e Resnick (2001) trazem de forma bem didática a “violação” de Planck à lei de equipartição. Pela abordagem de Planck, a energia média de um oscilador deveria ser dada por

$$\bar{\varepsilon} \rightarrow kT, \quad (3.11)$$

$$\nu \rightarrow 0$$

ou seja, energia total média tende a kT quando a frequência se aproxima de zero, o que para a lei de equipartição o resultado aceitável é

$$\bar{\varepsilon} \rightarrow 0. \quad (3.12)$$

$$\nu \rightarrow \infty$$

A energia total média tendendo a zero, quando a frequência tender ao infinito, seria capaz de extinguir a discrepância para altas frequências. Utilizando uma forma especial da distribuição de Boltzmann temos:

$$P(\varepsilon) = \frac{e^{-\varepsilon/kT}}{kT} \quad (3.13)$$

Onde $P(\varepsilon)d\varepsilon$ é a probabilidade de encontrar um dado ente² de um sistema com energia no intervalo entre ε e $\varepsilon + d\varepsilon$, quando o número de estados de energia para o modo normal nesse intervalo depende de ε . T é a temperatura de equilíbrio térmico do sistema com um grande número de modos normais e k representa a constante de Boltzmann.

As energias dos modos normais de um sistema e o valor médio delas ($\bar{\varepsilon}$) são obtidos de $P(\varepsilon)$, utilizando-se (3.13) e a regra fornecida pela função de distribuição de Boltzmann.ee

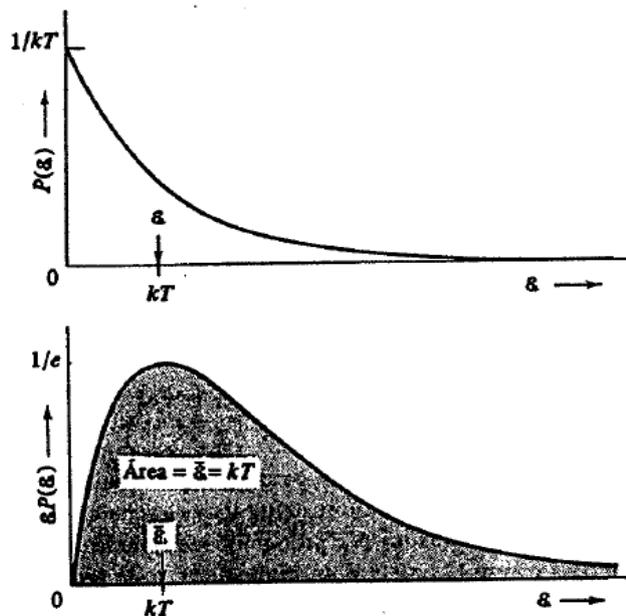
$$P(\varepsilon) = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon P(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\infty} P(\varepsilon) d\varepsilon} \quad (3.14)$$

O integrando no numerador é a energia ε com o peso dado pela probabilidade de encontrar o modo normal com essa energia. Ao integrar sobre todas as energias prováveis se alcança o valor médio dessa energia. Já o denominador é a probabilidade de encontrar o modo normal com qualquer energia, logo, o valor obtido será um. Efetuando a integral do numerador obtém-se exatamente a lei de equipartição de energia.

$$\bar{\varepsilon} = kT \quad (3.15)$$

A Figura 6 representa gráficos de $P(\varepsilon)$ em função de (ε) . Seus fundamentos são suficientes para concluirmos a ideia da probabilidade de energia sem utilizarmos os cálculos.

Figura 6 – Gráfico da distribuição de probabilidade de Boltzmann



Fonte: Eisberg; Resnick (2001, p. 34).

² Relaciona-se ao “[...] conjunto de ondas estacionárias oscilando em movimento harmônico simples em equilíbrio térmico em uma cavidade de corpo negro [...]” (EISBERG; RESNICK, 2001, p. 33).

Percebe-se, no primeiro gráfico da Figura 6, que ocorre o valor máximo ($1/kT$) quando $\varepsilon = 0$, mas quando ε aumenta gradativamente o valor de $P(\varepsilon)$ diminui suavemente e se aproxima de zero quando ε tende ao infinito. Isso indica que o valor encontrado com maior probabilidade em apenas uma medida de energia ε será zero. No entanto, se levar em consideração os resultados encontrados num grande número de medidas, a média ε será maior que zero, como se pode observar no eixo das abscissas do primeiro gráfico. Já o segundo gráfico apresentado demonstra o cálculo de $\bar{\varepsilon}$ a partir de $P(\varepsilon)$.

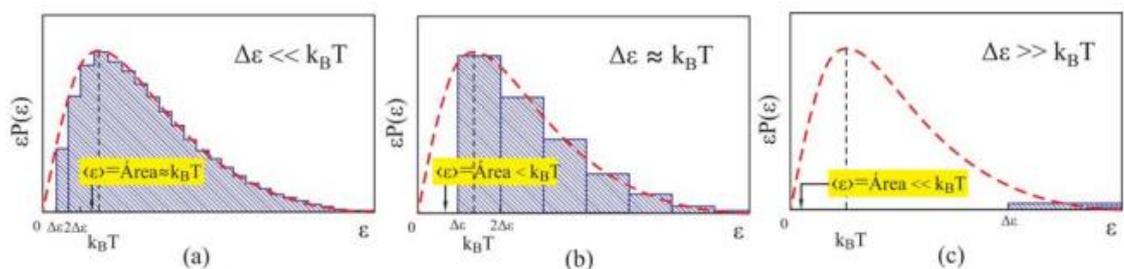
Por meio dessa análise dos gráficos, entende-se que a grande contribuição de Planck surge a partir do momento em que ele trata a energia ε como uma variável discreta em vez de uma variável contínua, como classificada na Física Clássica. Sendo assim, a suposição de Planck apontou que a energia ε passasse a adotar certos valores discretos em vez de valores quaisquer, desde que fossem valores harmonicamente separados como a representação abaixo.

$$\varepsilon = 0, \Delta\varepsilon, 2\Delta\varepsilon, 3\Delta\varepsilon, 4\Delta\varepsilon, \dots \quad (3.16)$$

em que se considera $\Delta\varepsilon$ o intervalo constante entre valores possíveis sucessivos da energia.

Acompanhemos, pois, a Figura 7:

Figura 7 – Gráfico da distribuição de probabilidade de Boltzmann considerando o intervalo $\Delta\varepsilon$.



Fonte: Lima (2013, p. 15)

Na Figura 7 o gráfico que merece maior atenção é o terceiro, pois o primeiro gráfico mostra que não faz nenhuma diferença fundamental se ε é uma variável discreta ou contínua. Isso ocorre porque os valores do intervalo de energia são muito baixos ($\Delta\varepsilon \ll kT$), proporcionando resultados iguais aos da Física Clássica. No segundo gráfico a maioria dos modos normais tem energia $\varepsilon = 0$, já que $P(\varepsilon)$ possui valor muito pequeno para o primeiro valor possível não nulo $\Delta\varepsilon$, obtendo resultados menores. Enquanto no terceiro gráfico se vê mais nitidamente o fato de ε ser discreto, por mostrar que $\Delta\varepsilon \gg kT$ e que a probabilidade de

encontrar um modo normal com qualquer dos valores de energia possível maior que zero é desprezível.

Como Planck precisava obter o primeiro resultado para baixos valores da frequência f e o segundo resultado para grandes valores de frequência f , conseqüentemente precisava fazer de $\Delta\varepsilon$ uma função crescente de f . Para chegar a tal comportamento, alguns cálculos lhe mostraram que poderia tornar mais simples que pensava a relação entre $\Delta\varepsilon$ e f , utilizando $\bar{\varepsilon} \cong kT$ quando a diferença entre as energias sucessivas ($\Delta\varepsilon$) for baixa e $\bar{\varepsilon} \cong 0$ quando $\Delta\varepsilon$ for alto, indicando que estas grandezas deveriam ser proporcionais

$$\Delta\varepsilon \propto f \quad . \quad (3.17)$$

Escrito na forma de equação em vez de uma proporcionalidade, temos

$$\Delta\varepsilon = hf \quad . \quad (3.18)$$

Em cálculos posteriores, Planck determinou a constante de proporcionalidade, alcançando um número que adaptava melhor sua teoria aos dados experimentais, de forma a consagrá-la, inclusive levando seu nome (constante de Planck).

$$h \cong 6,63 \times 10^{-34} \text{ joule } \times \text{ segundo} \cong 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \quad (3.19)$$

$$h = \frac{h}{2\pi} \cong 1,055 \times 10^{-34} \text{ J.s} \cong 6,58 \times 10^{-16} \text{ eV.s} \quad (3.20)$$

Segundo os ensinamentos da Física Clássica, a energia de uma oscilação não tem qualquer relação com sua frequência, dependendo apenas da amplitude de oscilação, que pode variar continuamente. Nesses termos, para a Física Clássica, o postulado de quantização de Planck seria inadmissível.

Em princípio, Planck não estava certo se sua introdução da constante h era apenas um artifício matemático ou algo de significado físico mais profundo. Numa carta a R. W. Wood, Planck chamou seu postulado limitado de “um ato de desespero”. “Eu sabia”, escreveu, “que o problema (do equilíbrio da matéria e radiação) é de fundamental significado para a física; eu sabia a fórmula que reproduz a distribuição de energia no espectro normal; uma interpretação teórica tinha que ser encontrada a qualquer custo, não interessando quão alto”. Por mais de uma década, Planck tentou encaixar a ideia quântica dentro da teoria clássica. Em cada tentativa, ele parecia recuar de sua ousadia original, mas sempre gerava novas ideias e técnicas que a teoria quântica mais tarde adotou. Aparentemente, o que finalmente o convenceu da correção e do profundo significado de sua hipótese quântica foi o fato dessa hipótese levar a uma formulação mais exata da terceira lei da

termodinâmica e do conceito estatístico de entropia. (EISBERG; RESNICK, 2001, p. 42).

Antunes (2012) – em sua dissertação sobre radiação do Corpo Negro: Lei de Estefan Boltzmann – evidencia que a elucidação de Planck para a catástrofe ultravioleta foi proveniente de uma alteração na fórmula de Rayleigh–Jeans, substituindo-se a energia média clássica correspondente a cada campo, expressa pelo valor $K_B T$, por uma nova expressão.

$$K_B T = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda K_B T}} - 1} = \frac{E_\lambda}{e^{\frac{E_\lambda}{K_B T}} - 1} \quad (3.21)$$

Em que a expressão $\frac{hc}{\lambda}$ corresponde à quantidade de energia discreta retratada por cada modo de oscilação ou pulso.

Planck realizou, então, uma ação extraordinária ao adaptar uma equação, de forma que conseguiu traduzir os dados experimentais da distribuição espectral da radiação. Realizou, assim, uns dos maiores feitos no campo da Física e deu início ao mais novo ramo da ciência, que conhecemos hoje como Física Quântica.

A equação de Planck pode ser especificada de uma maneira mais completa:

$$R(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda K_B T}} - 1} \quad (3.22)$$

onde:

R = Radiância Espectral

T = Temperatura do Corpo Negro (K)

h = Constante de Planck (J/Hz)

e = Número de Euler

c = Velocidade da luz

K_B = Constante de Boltzmann (J/K)

Considerando-se que o comprimento de onda tem relação com a frequência, dada por

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (3.23)$$

a Lei de Planck pode ser escrita para densidade espectral ficando da seguinte forma

$$u = \frac{\frac{8\pi h\nu^3}{c^3}}{\left\{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1\right\}} \quad (3.24)$$

ou

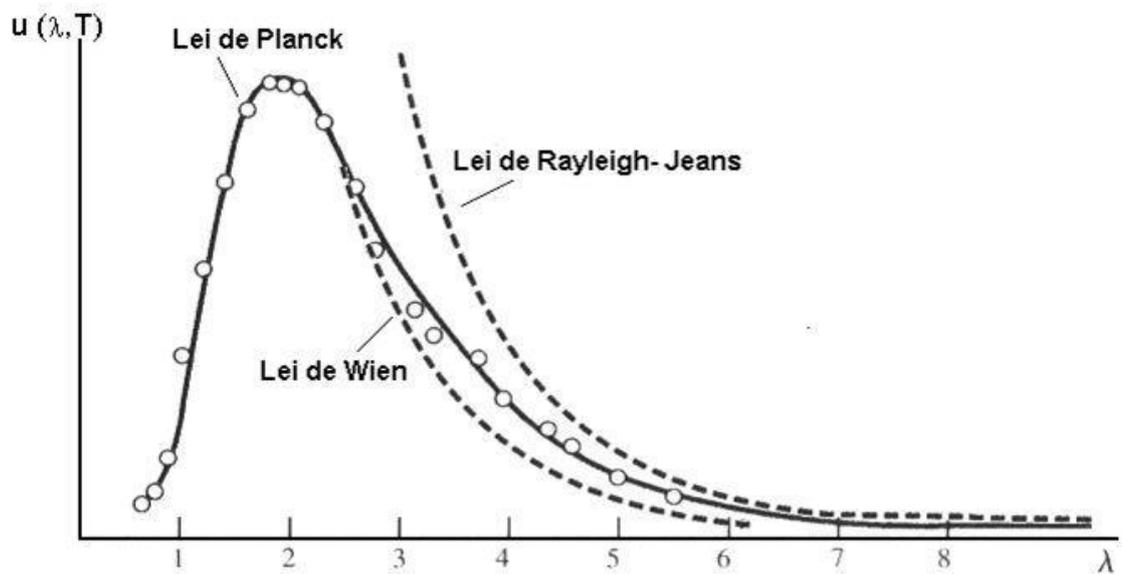
$$p(\nu) = \frac{N\nu}{\nu} U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (3.25)$$

ou ainda, em função do comprimento de onda,

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}. \quad (3.26)$$

A comparação das Leis de Rayleigh-Jeans e Wien com a Lei de Planck é expressa no gráfico da figura 8.

Figura 8 – Comparação da curva de radiação emitida por um corpo negro



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/2884196/>

Analisando o gráfico da Figura 8, percebe-se que a Lei de Planck, representada pelos círculos, adapta-se satisfatoriamente aos dados experimentais, de modo a encontrar solução para a catástrofe ultravioleta, enquanto a Lei de Wien e Rayleigh-Jeans não se adequam ao resultado experimental.

4 METODOLOGIA

Uma das grandes preocupações dos professores – principalmente da área das Ciências da Natureza – está em desenvolver metodologias que aperfeiçoem e integrem as abordagens teóricas e as práticas experimentais no ambiente escolar. Contudo, os docentes que buscam por aperfeiçoamento têm que enfrentar na maioria das unidades escolares a falta de apoio, de materiais e de suportes pedagógicos. Essa ainda é a realidade da educação brasileira.

Refletindo sobre algumas dessas dificuldades comuns no âmbito da educação de nosso país, e buscando superá-las, apresentamos por meio desta pesquisa uma proposta de trabalho interdisciplinar que, dentre outras coisas, apresenta uma sequência didática com a finalidade de contribuir para o planejamento e execução das aulas de Física, tendo por tema a Teoria da Radiação do Corpo Negro.

Como estratégia para diminuir o abismo que existe, usualmente, entre o conhecimento prévio do aluno e o novo conhecimento a ser ministrado, em particular no contexto das teorias mais modernas em Física, procederemos à construção, na sala de aula, de uma comunidade investigativa que se orientará pela busca de uma aprendizagem significativa, como descrito no referencial teórico desta dissertação.

Considerando-se a natureza social do universo em que se propôs a análise desta pesquisa, aplicaremos o método de pesquisa qualitativo, apropriado para estudos nos quais a realidade não se esclarece de forma meramente quantitativa, numérica. Por sua vez, a ênfase está na compreensão de complexos processos de ensino e aprendizagem, de forma a considerar as relações que se inferem das informações coletadas.

A abordagem qualitativa parte do fundamento de que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, uma interdependência viva entre o sujeito e o objeto, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito. O conhecimento não se reduz a um rol de dados isolados, conectados por uma teoria explicativa; o sujeito-observador é parte integrante do processo de conhecimento e interpreta os fenômenos, atribuindo-lhes um significado. O objeto não é um dado inerte e neutro; está possuído de significados e relações que sujeitos concretos criam em suas ações. (CHIZZOTTI, 2006, p. 79).

Sendo assim, para esse tipo de investigação, será essencial que o pesquisador frequente o local de estudo e esmere-se no acompanhamento das atividades, pois a interpretação dos dados coletados é enriquecida e facilitada quando as práticas forem acompanhadas em seu ambiente natural.

A sequência didática aqui apresentada tem por objetivo incentivar a construção de um raciocínio logicamente harmonizado, reflexivo, elaborado, que desenvolva mecanismos consistentes para favorecer o questionamento, a concentração, a interação social e a autonomia do indivíduo na construção de uma comunidade de investigação, como proposta por Lipman, para atingir uma aprendizagem significativa, como recomendada por Ausubel.

4.1 Caracterização da escola, da disciplina eletiva e do público-alvo

A aplicação do produto e coleta de dados ocorrerá no Centro Educacional em Período Integral (CEPI) Pedro Xavier Teixeira (PXT), da cidade de Goiânia. Trata-se de uma escola pública que atende a turmas de ensino médio, com uma carga horária de 8 horas por dia.

No colégio há 10 turmas de Ensino Médio (4 turmas de 1ª série, 3 turmas de 2ª série e 3 turmas de 3ª série), cada uma com aproximadamente 25 alunos. Seu público não se limita apenas aos estudantes que moram no bairro, mas atende também a estudantes oriundos de bairros próximos e até de cidades vizinhas, como Aparecida de Goiânia e Senador Canedo. Conseqüentemente, as turmas apresentam grande heterogeneidade quanto às condições financeiras, sociais, educacionais e culturais dos alunos.

O CEPI-PXT busca estimular a atuação protagonista do estudante, uma vez que a escola se propõe a desenvolver no educando a iniciativa, a autonomia e a formação diversificada. A proposta educativa se fundamenta nos quatro pilares da educação (aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser) para trabalhar o protagonismo do educando, por meio da denominada Pedagogia da Presença, conforme proposto no Projeto Político-Pedagógico (PPP) da escola.

O alicerce desse modelo pedagógico do Centro Educacional em Período Integral Pedro Xavier Teixeira é o Projeto Vida do Estudante, criado e desenvolvido pela própria escola. Esse projeto tem por objetivo ajudar o estudante a transformar sua realidade em face ao seu projeto de futuro, ao considerar seus aspectos pessoal, social e produtivo, beneficiando-o com o desenvolvimento da capacidade de iniciativa, de liberdade e de compromisso para realizar escolhas que muito influenciarão em sua vida.

Os componentes curriculares da escola são considerados elementos fundamentais do processo de formação e de construção do projeto de vida, de modo que se compõem também de disciplinas eletivas, consideradas uma oportunidade para a ampliação do repertório de conhecimentos do estudante. O diálogo que se pretende entre as disciplinas eletivas e o projeto de vida dos estudantes está na possibilidade de ampliar a lista “de coisas para se

pensar a respeito” e “de coisas para se descobrir”, de forma a contemplar vivências culturais, artísticas, esportivas, científicas, estéticas, linguísticas, etc.

As eletivas são disciplinas temáticas, oferecidas semestralmente, propostas pelos professores e/ou pelos estudantes e têm por objetivos a diversificação, o aprofundamento e o enriquecimento dos conteúdos e temas trabalhados nas disciplinas da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017).

A diversificação se aplica também à metodologia utilizada pelo professor, pois nas disciplinas eletivas há maior liberdade para se aplicar uma grande variedade de abordagens metodológicas e de se utilizar os mais diversos recursos didáticos. No aspecto metodológico, recomenda-se aos professores conferiu uma dimensão prática a essas disciplinas, de forma que o estudante vivencie a aplicação do conhecimento.

Durante a semana de planejamento os professores iniciam as suas discussões em torno das áreas /temas/conteúdos, das metodologias utilizadas, dos recursos didáticos requeridos etc. A abordagem interdisciplinar, adotada nas disciplinas eletivas, proporciona um momento rico, permeado pelo debate das diferentes percepções das áreas sob os mesmos temas.

As disciplinas eletivas são componentes previstos na matriz curricular e se submetem aos regimentos legais. A frequência deve ser registrada e contabilizada para efeito da frequência geral do estudante. A parte diversificada não acarreta reprovação ao estudante, conforme prevê a legislação, mas isso não significa que não devam existir mecanismos de avaliação, que tem natureza marcadamente formativa. Como há o objetivo de assegurar a integralização entre parte diversificada e o núcleo comum, recomenda-se que o desenvolvimento dos estudantes nas eletivas deva ser considerado na avaliação das disciplinas do núcleo comum a que cada estudante está mais diretamente ligado.

Dentre as eletivas está a disciplina “Mergulhando no mundo quântico”, na qual nosso produto educacional será aplicado. Essa disciplina semestral se desenvolve semanalmente, com duas horas-aula sequenciais. Os 25 estudantes que compõem a turma são oriundos das 3 turmas de 3º ano do ensino médio e aderiram voluntariamente à disciplina. Na grande maioria a turma é composta por estudantes que apresentam afinidade com a disciplina ou se sentem a responsabilidade de estudá-la mais.

A coleta de dados para a realização desta pesquisa ocorrerá durante a aplicação do produto educacional dessa disciplina eletiva. O produto será aplicado segundo uma sequência didática dividida em 4 encontros, distribuídos em 8 aulas de 50 minutos cada (correspondentes a 4 encontros de aulas duplas). Para o levantamento de dados serão

utilizados questionários, diário de campo do pesquisador e a observação, além dos materiais produzidos pelos alunos durante a aplicação do produto.

A análise de dados será apresentada na ordem em que as aulas aconteceram. Serão apresentados os aspectos que demandaram maior atenção.

4.2 Composição da sequência didática

A seguir apresentamos a sequência didática, que deve contemplar a abordagem interdisciplinar. Concebemos a sequência didática aqui proposta como uma soma de ações associadas entre si, planejadas para o ensino de alguma temática, passo a passo e organizada de forma a atender os anseios e objetivos dos docentes de Física para o alcance do aprendizado de seus alunos.

A proposta de sequência didática desta pesquisa será apresentada em duas etapas: em primeiro momento, seu perfil geral, no Quadro 2; e, em seguida, o roteiro das aulas que compõem a sequência didática, no Quadro 3.

4.2.1 A sequência didática: perfil geral

Quadro 2 – Perfil da sequência didática proposta:

Tema: “Radiação do Corpo Negro” Campo do conhecimento: Física	
Extensões pedagógicas	Conceitual, Procedimental e Atitudinal baseadas, em particular, na terceira habilidade da primeira competência prevista na BNCC ³ para a área das Ciências Naturais e suas Tecnologias, e respaldada no currículo referência da Rede Estadual de Educação de Goiás ⁴ .
Público-alvo	3ª série do Ensino Médio – Período Integral.
Duração estimada	8 h/a.
Objetivo geral da sequência didática	Estimular a criação de um raciocínio lógico, coerente e desenvolvido. Elaborar dispositivos plausíveis para proporcionar condutas que conduzam ao diálogo, ao questionamento, à reflexão, à evolução natural e à independência do estudante. Compreender os mecanismos de absorção da radiação por um corpo escuro. Demonstrar uma relação entre a absorção dos raios do espectro

³ A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) está disponível em: <http://www.bncc.com.br>.

⁴ O currículo referência da educação básica da Secretaria de Estado da Educação de Goiás está disponível em: <http://portal.seduc.go.gov.br/Documentos%20Importantes/Diversos/CurriculoReferencia>.

	<p>luminoso com o aumento de temperatura.</p> <p>Entender os fenômenos relacionados à radiação bem como sua aplicação no dia a dia, compreendendo as potencialidades e os riscos da radiação.</p> <p>Permitir o trabalho em grupo.</p> <p>Desenvolver a habilidade de manuseio de materiais e instrumentos.</p>
Trabalho investigativo cooperativo	Resolução de problemas em grupos de quantidades variadas de estudantes e debates (Comunidades de Investigação).
Abordagem pedagógica	<p>a) Focada no estudante: Aumentar a participação dos estudantes, de modo eficaz, em atividades individuais e colaborativas;</p> <p>b) Interdisciplinar: Promover os conceitos determinando ligações com a Matemática, a Química, a Filosofia, a História, a Sociologia, a Língua Portuguesa, e campos como o da Saúde/Medicina.</p>
Metodologia	<p>a) Aulas dialógicas: Voltadas à reflexão e à construção coletiva de conhecimento;</p> <p>b) Diversidade pedagógica: atividades experimentais, leitura de textos, interpretação de vídeos, simulações computacionais, listas de exercícios objetivos, pesquisas sobre temas de FMC, participação em debates.</p>
Avaliação dos estudantes	Inicialmente, a avaliação será diagnóstica, com fins formativos. Durante a atividade a avaliação será informal e considerará a participação e os resultados de cada estudante nas atividades propostas.
Avaliação da aprendizagem	Avaliação Qualitativa: avaliação informal e contínua das falas dos estudantes, buscando por evidências de aprendizagem de conceitos e desenvolvimento de competências e habilidades. Ao mesmo tempo, atentando-se para indicadores da necessidade de intervenção do professor.
Avaliação da sequência didática	<p>Opinião dos alunos: Reunir visão dos estudantes acerca da sequência em uma autoavaliação;</p> <p>Opinião do pesquisador-professor: baseado no resultado da avaliação da aprendizagem e nas observações qualitativas do processo de ensino-aprendizagem.</p>

Fonte: Do próprio autor.

4.2.2 Roteiro de aulas da sequência didática

Esta sequência didática deverá ser desenvolvida sob três vieses no processo de aprendizagem. O primeiro viés abordará os conteúdos teóricos, incluindo a parte histórica, em que se pesquisará a importância e o desenvolvimento dos estudos da radiação do corpo negro. O segundo viés contemplará os debates e as reflexões sobre o tema. E, por fim, o terceiro viés apreciará a parte experimental, relacionando a teoria e a prática, consolidando, assim, uma aprendizagem complexa e significativa.

Considerando as dificuldades das escolas estaduais, tanto financeiras quanto estruturais, sugerimos materiais de baixo custo para os experimentos, de modo que o custo dos materiais não representasse empecilho para a aplicação desta sequência didática, conforme orientação de Moraes (2015) em sua dissertação.

A seguir, no Quadro 3, apresenta-se o roteiro das aulas:

Quadro 3 – Roteiro das aulas da sequência didática

Bloco de atividades: Desvendando mistérios da Física Quântica: a Radiação do Corpo Negro	
1º ENCONTRO (aulas 1 e 2)	<p>Atividade 1 – A Filosofia e o Fazer Ciência no Mundo Moderno O professor aplicará um questionário contendo 8 questões. Esse questionário permitirá identificar os conceitos subsunçores (Ausubel) que os alunos já possuem, relacionados à calor, espectro de luz, transmissão de calor e radiação. Facilitará, assim, o planejamento das aulas do 2º encontro, possibilitando que o docente desenvolva de forma objetiva a temática da Radiação do Corpo Negro.</p> <p>Situação inicial: O professor disporá os estudantes em círculo a fim de fomentar, imediatamente após as leituras reflexivas, um debate em formato de roda de conversa, com o intuito de fomentar paulatinamente o pensar Crítico, o pensar Criativo e o pensar Cuidadoso, com vistas a alcançar o Pensamento de Ordem Superior (Lipman).</p> <p>1ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 1: As origens da ciência moderna (CHIBENI, s/d). Os textos da Leitura Reflexiva funcionarão como organizadores prévios (Ausubel).</p> <p>Debates e reflexões: 1ª Seção de Leitura Reflexiva (texto 1)</p> <p>Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 1ª</p>

Seção de Leitura Reflexiva. Casos os alunos se mostrem tímidos, é importante que o professor os encoraje, incentivando-os a falarem aquilo que acreditam estar correto frente às indagações apresentadas. Esta pode ser a primeira vez de muitos estudantes nessa sistemática de debates, o que exigirá maior abertura e encorajamento pelo docente.

Sugestão de Situação-problema: Após o debate sobre *As origens da ciência moderna* o professor pergunta para a turma “Qual a origem da ciência moderna?” para voltar-se à reflexão de “O que a Filosofia tem, então, a ver com a ciência moderna?”. O professor apresenta a importância da construção do pensamento organizado e dos critérios metodológicos para o processo de investigação científica. A partir dessas reflexões, e de outras que possam surgir durante o debate, o professor destacará a contribuição da Filosofia, com exemplos práticos; e dos critérios metodológicos, elencando alguns dos mais relevantes, para o conhecimento científico. A Situação-problema, dentre outras coisas, oferece uma ou mais questões, com o intuito de instigar nos estudantes o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao raciocínio, à formação de conceitos, à prática de investigação, como apresenta Lipman; mas também a formação de novos conceitos, como deseja Ausubel.

2ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 2: *O trabalho em equipe e o progresso da ciência* (LUZ; ÁLVARES, 2014, p. 304-305)

Debates e reflexões: Seção de Leitura Reflexiva (texto2)

Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 2ª Seção de Leitura Reflexiva

Após o debate sobre *O trabalho em equipe e o progresso da ciência*, o professor pergunta para a turma “Alguém pode citar um cientista que fez uma grande descoberta?”, para a partir daí mostrar que essa descoberta demandou o conhecimento prévio de outras pessoas e pesquisas para que tivesse êxito. Assim, ao discutir como a ciência é um processo de desenvolvimento, além de ser um ato colaborativo, o docente destacará a importância de as pessoas, sobretudo seus estudantes, buscarem o conhecimento em áreas de seu interesse (científica, profissional, religiosa, familiar etc), com pessoas que terão as mais diversas visões de mundo, para que a partir daí consigam apresentar novas soluções para a respectiva área. Esse momento busca partir de situações próprias de interesse dos estudantes, o que favorecerá para que os novos conceitos adquiridos não sejam arbitrários, mecânicos, mas possibilitem a aprendizagem significativa. Além disso, são essenciais para a aprendizagem representacional (Ausubel).

	<p>Para enriquecer a aula, o professor poderá entregar aos alunos uma página com curiosidades sobre alguma descoberta científica e bibliografia complementar. Essa estratégia busca ampliar as possibilidades de assimilação (Ausubel) na medida em que busca incentivar a prática de investigação para além da sala de aula (Lipman)</p> <p>Aplicação de: Autoavaliação.</p> <p>Tempo: Os estudantes devem levar até 20 minutos para responderem ao questionário. O rearranjo da sala para a roda de conversa deverá levar até 5 minutos. As leituras reflexivas dos textos e o debate poderá durar até 60 minutos. Para encerrar, a autoavaliação, quando empregado pela primeira vez, deverá tomar de 15 a 20 minutos da aula. As rodas de conversa e os debates buscam promover uma melhor elaboração pelos estudantes de suas ideias e favorece sua habilidade de tradução, pois têm que apresentar com linguagem própria os novos (Lipman) conhecimentos e conceitos. Naturalmente, que essa reelaboração demanda que os estudantes se valham de seus conceitos subsunçores de antes, com a inserção de novos conceitos, na medida em que são instigados à aprendizagem proposicional (Ausubel).</p>
<p>2º ENCONTRO (aulas 3 e 4)</p>	<p>Atividade 2 – Radiação do Corpo Negro</p> <p>Antes do início da atividade, o professor deve orientar a turma sobre as condições da participação respeitosa e colaborativa para o estudo e para a construção do conhecimento. Estabelecerá, assim, algumas regras de convivência.</p> <p>Situação inicial: É necessário organizar os estudantes em grupos de 3 a 5 membros preferencialmente, que se parte da comunidade de investigação, como proposto por Lipman, para subsidiar o desenvolvimento das respectivas habilidades; e de modo a favorecer a formação de novos conceitos, como pretende Ausubel.</p> <p>1ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 1: <i>A radiação do corpo negro</i> (Apêndice).</p> <p>Debates e reflexões: 1ª Seção de Leitura Reflexiva (texto 1)</p> <p>Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 1ª Seção de Leitura Reflexiva. As ponderações do professor são sempre importantes para assegurar que haja elaboração conceitual progressiva (Ausubel), e que o pensamento se oriente por processos criteriosos (Lipman).</p>

2ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 2: *As moléculas da vida e as radiações* (KANTOR; PAOLIELLO JÚNIOR, 2010, p. 85-86)

Debates e reflexões: Seção de Leitura Reflexiva (texto2)

Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 2ª Seção de Leitura Reflexiva

Em geral, para as duas seções de Leitura Reflexiva, os alunos farão um grande círculo na sala de aula para discutirem sobre os textos. O debate procederá da seguinte maneira: para cada tópico dos textos em análise será escolhido um dos grupos (comunidade de investigação) para expor seu entendimento e questionamentos. Os demais grupos, de forma organizada, pedindo a palavra, concordarão ou discordarão, acrescentando seus argumentos quando necessário. Em alguns momentos, sempre que oportuno, o professor intervirá para elucidar algumas dúvidas sem dar respostas feitas e, sim, estimular mais ainda a construção do saber.

Sugestão de Situação-problema: Após o debate sobre o texto *A radiação do corpo negro*, o professor apresentará algumas indagações à turma, dentre as quais: Mas, afinal, o que é um Corpo Negro para a Física? O que foi a “Catástrofe do Ultravioleta”? Qual a solução proposta por Max Planck para a “Catástrofe do Ultravioleta”?

Ao término do debate acerca do texto *As moléculas da vida e as radiações*, o professor apresentará à turma questões como: Explique como a radiação solar pode interferir no surgimento da vida na Terra? E como ela influencia na cadeia alimentar das espécies. Como se explica que a mesma radiação que pode ajudar no tratamento de doenças, também pode afetar a saúde?

Para enriquecer a aula, o professor poderá entregar aos alunos uma página com curiosidades sobre o tema e bibliografia complementar.

Mini aula explicativa: O professor apresentará uma explanação do tema “Radiação do Corpo Negro”, de aproximadamente 30 minutos. Neste momento, o docente explicará aspectos ainda não contemplados, como a explicação de Planck sobre a energia ser quantizada, bem como a forma como as radiações são produzidas, em semelhança com osciladores em Movimento Harmônico Simples.

Tempo: O docente precisa se atentar ao cronograma, para que a atividade se conclua de forma integral, com o tempo bem aproveitado. É importante salientar que a condução do tempo não precisa ser exageradamente rígida, mas precisa estar atenta ao desenvolvimento global da aula. Assim, para tratar das regras e organizar as comunidades de investigação (em grupos), o tempo

	<p>deverá ser de uns 10 minutos. O tempo para o debate, inclusive com o tempo destinado à leitura dos textos e às anotações preparatórias, poderá durar aproximadamente 50 minutos. A miniaula expositiva deverá ter algo próximo a 30 minutos. Por fim, para uma avaliação serão destinados em torno de 10 minutos.</p>
<p>3° ENCONTRO (aulas 5 e 6)</p>	<p>Atividade 3 – Experimento científico (1ª parte do encontro); e representação da radiação (2ª parte do encontro)</p> <p>Situação inicial: Ao dar início à aula, o professor prestará orientações gerais: que solicita que cada membro da respectiva comunidade investigativa acompanhe o experimento com anotações dos principais dados e informações, para comparação e discussão posterior.</p> <p>1ª Parte do Encontro – Experimento</p> <p>Miniaula explicativa: O professor retoma rapidamente a Lei de Wien, rememorando o encontro anterior e já instruindo como procederão ao experimento.</p> <p>Experimento: Aplicação da Lei de Wien, de modo a acompanhar a absorção da radiação por corpos que apresentem superfícies de colorações claras e escuras (1ª parte do encontro). O material deverá ser instalado previamente no laboratório de Ciências/Física. Ao ligar a lâmpada, com as latas em posições equidistantes, a temperatura é acompanhada pela leitura dos termômetros digitais.</p> <p>Recursos necessários: Termômetros digitais de temperatura e latas de superfície branca e de superfície preta (1ª parte do encontro); e Laboratório de informática (2ª parte do encontro)</p> <p>Sugestão de roteiro avaliativo pós-experimento: Ao finalizar o experimento de radiação do corpo negro, convém que o professor verifique se de fato os estudantes estarão aptos a responderem alguns questionamentos referentes aos conhecimentos trabalhados. Será, portanto, relevante sondar questões fundamentais, como: a) todos reconhecem qual a lata que apresentará maior variação de temperatura devido à radiação solar? b) os alunos estão preparados para aplicar a Lei de deslocamento de Wien para calcular o comprimento de onda da radiação nas paredes da lata e identificar se essa faixa de radiação se enquadra na radiação infravermelha? e c) conseguem, a partir dos dados, calcular a variação da radiação das latas de superfície branca e de superfície preta?</p> <p>Os experimentos e as simulações são importantes porque exploram a aprendizagem conceitual (Ausubel), ao passo que fomenta o pensamento e as habilidades inseridos na prática da investigação (Lipman)</p>

	<p>-----</p> <p>2ª Parte do Encontro – Familiarização com o <i>Excel</i> e elaboração de gráfico</p> <p>Instruções: Os estudantes deverão ser instruídos sobre como utilizar o <i>Excel</i> para a criação de gráficos, uma vez que no próximo encontro os alunos o utilizarão para representar em gráfico a curva característica da Lei de Planck referente ao experimento da 1ª parte do encontro.</p> <p>Recursos necessários: Laboratório de informática e <i>datashow</i></p> <p>Tempo: A aula deverá ser dividida em dois momentos, cada um de 50 minutos: a) na primeira parte do encontro, convém realizar o experimento e avaliação do êxito quanto a alguns objetivos fundamentais; b) na segunda parte do encontro, caso a escola conte com um laboratório de informática, o professor deve orientar a turma quanto ao uso do <i>Excel</i>, caso nem todos os alunos já o dominem.</p> <p>Aplicação de: sondagem de aprendizagem (informal e coletiva).</p>
<p>4º ENCONTRO (aulas 7 e 8)</p>	<p>Atividade 4 – Questionário e elaboração de tabelas e gráficos relacionados à Radiação do Corpo Negro.</p> <p>Situação inicial: Organizar os alunos em grupos de 5 componentes, que receberão um questionário por grupo a ser respondido com base no uso do simulador PHET, com o propósito de instigar a análise e o debate de modelos de radiação emitida por um corpo negro.</p> <p>Sugestão de Situação-problema: O questionário deverá apresentar questões para verificação de aprendizagem, que deve observar dentre outras coisas: a) o espectro de emissão de lâmpada incandescente; b) o ajuste de temperatura no simulador; e c) a construção de gráficos e tabelas relacionados à radiação.</p> <p>Debates e reflexões: após a simulação no PHET</p> <p>Intervenções e Ponderações docentes: no debate após a simulação da radiação de um corpo negro</p> <p>Recursos necessários: questionário, <i>datashow</i> e laboratório de informática</p> <p>Aplicação de: autoavaliação e pós-teste.</p> <p>Tempo: O tempo para a tarefa de simulação será de em média 50 minutos, com outros 30 destinados ao debate, e 20 minutos para autoavaliação.</p>

Fonte: Do próprio autor.

* Roteiro elaborado a partir do modelo de Althoff (2018).

As ponderações acerca dos aportes de Ausubel e Lipman utilizados nesse roteiro permitem identificar, grosso modo, que os fundamentos de Lipman possibilitam a execução das proposições de Ausubel. É como se a teoria de Ausubel se pautasse nos princípios que devem ser adotados e a teoria de Lipman se ocupasse de prover os meios necessários para sua consolidação. Essa relação de complemento entre essas teorias revela como é pertinente a proposta de Silva Filho e Ferreira (2018) para que uma Teoria de Aprendizagem se faça acompanhar de uma Teoria da Educação, possibilitando sua conexão com a prática de sala de aula.

Esclareça-se que esse roteiro de aulas pode ser empregado por outros professores de Física com algumas alterações, visando adequá-lo à realidade onde venha a ser aplicado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Aplicação da sequência didática

A aplicação da sequência didática ocorreu em um colégio de período integral do ensino médio da rede estadual de Goiás, localizado na região metropolitana de Goiânia.

A aplicação do produto educacional ocorreu por meio de quatro (4) encontros, cada um com aula dupla, totalizando oito (8) aulas. Como cada aula simples dura 50 minutos, um encontro tem a duração de 1 hora e 40 minutos. A turma contemplada é formada especificamente para a disciplina denominada “Mergulhando no mundo quântico”, que é eletiva e compõe o núcleo diversificado da escola. Os alunos da disciplina que participaram das atividades são os 25 jovens que fizeram a opção por cursá-la, oriundos das três turmas regulares de 3ª série do ensino médio da escola.

5.1.1 Primeiro encontro – Aulas 1 e 2

No início do primeiro encontro foi aplicado um questionário composto por oito (8) perguntas (Apêndice), para ser respondido individualmente, com a finalidade de identificar os subsunçores, conceitos preliminares dos educandos, e que permitiram ao professor a elaboração de um conjunto adequado de organizadores prévios, que visaram a estabelecer um percurso criterioso entre o conhecimento que os estudantes já possuíam e o conhecimento a ser alcançado. Dentre os organizadores prévios empregados estão os textos e os questionários, criados a partir dos subsunçores identificados, a fim de garantir um conhecimento mais elaborado, mais complexo.

Os organizadores são mais eficientes quando apresentados no início das tarefas de aprendizagem, do que quando introduzidas simultaneamente com o material aprendido, pois dessa forma suas propriedades integrativas ficam salientadas. Para serem úteis, porém, precisam ser formuladas em termos familiares ao aluno, para que possam ser aprendidos, e devem contar com boa organização do material de aprendizagem para terem valor de ordem pedagógica. (MOREIRA, MASINI, 2016, p. 22).

Durante a aplicação do questionário, observou-se um comportamento tranquilo de aprovação à proposta da aula; porém, também se identificou certa ansiedade dos alunos em desejarem antecipar esse novo tema que lhes ampliaria o conhecimento do “mundo quântico”.

A primeira pergunta do questionário foi:

1) *Em um dia ensolarado, você resolve sair com seus amigos para saborear um delicioso sorvete. Ao escolher sua vestimenta, você acha que a cor da roupa que usará vai influenciar na sensação térmica da pele em contato com o tecido?*

Para este questionamento, alguns estudantes responderam apenas que sim, mas a grande maioria conseguiu ir mais adiante justificando suas respostas, exemplo:

“Sim, quanto mais escura for a cor da roupa, maior será a sensação térmica em relação as roupas de cores claras.” (Aluno M)

“Sim claro, pois existem algumas cores como é o caso do preto que retém mais calor.” (Aluna J)

“Com certeza, a roupa de cor preta absorve mais calor que a roupa de cor branca.” (Aluna N)

“Sim, porque a cor preta é formada pela absorção de todas as cores, conseqüentemente absorve mais calor.” (Aluno H)

O que se observou com referência às respostas dessa primeira questão é que não houve incertezas com relação à influência da cor do tecido com a sensação térmica proposta na pergunta, indicando ser esse um bom subsunçor para o tema. Isso ocorreu por dois motivos.

O primeiro está relacionado com a própria construção do questionamento, que buscou estabelecer relações com os conhecimentos adquiridos com as experiências vividas pelos educandos, identificando assim a existência do conhecimento prévio trazido por eles em sua estrutura cognitiva. Já o segundo motivo está relacionado com a contextualização do fenômeno, pois esse entendimento está consolidado na mente dos estudantes, mesmo que não se conheça cientificamente a sua fundamentação.

A segunda questão está relacionada com a primeira, uma questão também contextualizada e buscando em seu texto abordar o aprendizado adquirido pelos alunos em suas vivências. A pergunta se refere às compras de roupas para serem usadas nos dias de temperatura alta de sua cidade com o objetivo de manter uma sensação térmica prazerosa. Abaixo algumas respostas selecionadas.

“Eu selecionaria cores claras, como por exemplo a branca.” (Aluna A)

“Compraria blusas de cores claras como amarelo claro, rosa claro, azul bebê entre outras.” (Aluna C)

Notamos que apesar de as respostas não virem expressas em linguagem científica, o entendimento em relação à absorção de radiação das cores mais escuras está bem delineado na mente dos estudantes.

Na terceira pergunta, que trata do processo de transmissão de calor envolvendo uma fogueira em um acampamento em família, a grande maioria dos alunos não lembrava dos nomes corretos dos processos de transmissão de calor, respondendo da seguinte forma:

“É um processo de aquecimento a distância, a gente recebe calor.” (Aluno H)

“Não me recordo direito mas parece que é por radiação.” (Aluno D)

“É o processo de transmissão de calor realizado pelo ar, a mesma coisa do Sol. Acho que é radiação.” (Aluna B)

“É um aquecimento pelo ar” (Aluna M)

Pode-se perceber que, por se relacionar com alguns elementos vivenciais, a ideia que os estudantes têm do calor se apresenta ainda de forma pouco elaborada em suas estruturas cognitivas. Essa é a razão pela qual se torna essencial o diagnóstico dos subsunçores a fim de que o docente possa elaborar os organizadores prévios apropriados à realidade dos alunos da turma.

As respostas para a quarta questão não se distinguiram muito entre si, pois, como o questionamento indagava quais eram as cores do arco-íris, o que variava entre uma resposta e outra era a ordem apresentada das cores.

A questão cinco buscou avaliar os conhecimentos de emissão de radiação com o seguinte texto:

5) Em um experimento no laboratório de Física, dois corpos são submetidos à elevação de temperaturas diferentes. O primeiro corpo, ao ser aquecido, apresentou coloração alaranjada e o segundo apresentou coloração azulada. Sem utilizar o auxílio de um termômetro, qual dos dois corpos deve apresentar maior temperatura?

As seguintes respostas foram selecionadas:

“A cor alaranjada, pois ela está mais próxima do vermelho, com isso mais quente,” (Aluna ME)

“A cor alaranjada, porque é a cor do Sol então mais quente.” (Aluno P)

“A cor alaranjada por ter maior frequência.” (Aluno D)

“O corpo que apresenta coloração alaranjada.” (Aluna AC)

“A de cor azulada, pois se assemelha com a chama do fogão.” (Aluna G)

“Os dois terão a mesma temperatura, é como comparar fogão a lenha e a gás.” (Aluno F)

Pode-se notar a criatividade nas respostas, nas quais a maioria dos estudantes afirmaram que o corpo com maior temperatura é o de cor alaranjada, buscando assim responder à questão por similaridade. A analogia com os corpos que possuem a coloração igual ou parecida com a do Sol e, por isso, teriam a maior temperatura ou a ideia de que cores que se aproximam do vermelho são cores quentes remetem a aspectos vivenciais diversos do conhecimento técnico de Física.

Infelizmente, algumas analogias como essa foram realizadas pelos alunos e geraram conceitos incorretos ou inadequados. Tal fato pode estar relacionado à articulação dessas ideias no contexto de outras disciplinas da unidade escolar, como por exemplo aquele contexto das aulas de artes, em que estudam as ideias de cores “quentes” e “frias”, podendo se tornar um empecilho para a compreensão dos fundamentos da teoria.

A diferença entre a luz e o calor foi o assunto abordado pela sexta questão. Os alunos em geral responderam dentro das expectativas esperadas, tendo apenas uma minoria que não conseguiu diferenciar os dois. Segue abaixo algumas das respostas selecionadas:

“A frequência.” (Aluno M)

“Deve ser a frequência, pois a luz é visível e o calor não.” (Aluno D)

“A diferença é que a luz é uma onda e o calor é uma energia.” (Aluna I)

“Não sei ao certo, mas quando um objeto está com uma temperatura muito alta além de emitir calor emite também luz.” (Aluna V)

A questão sete, mais específica quanto ao tema, indagava acerca do conceito de Corpo Negro sob a perspectiva da Física. Os alunos, sem o auxílio do professor, formularam algumas respostas que apresentamos a seguir:

“É um corpo que absorve a luz como o buraco negro.” (Aluno M)

“Acho que é um corpo que absorve calor.” (Aluna B)

“Parece que é um corpo que não possui cores.” (Aluna T)

“É um corpo que absorve todas as radiações de luzes coloridas.” (Aluno D)

“É um corpo desprovido de calor.” (Aluna L)

Percebe-se que as respostas dos estudantes em relação a essa questão têm uma ausência de fundamentação científica para a explicação do que seria um Corpo Negro. Suas respostas surgem de um conceito já existente a respeito do tema que foi assimilado pelas suas

próprias experiências vivenciadas, se tornando um ótimo colaborador para a criação de novo saber, conforme o tipo de aprendizagem que se opera.

A oitava questão se remete à relevância da radiação para a humanidade e indaga, de fato, se existe alguma. As respostas dos alunos foram unânimes em relatar a importância da radiação na área da saúde e da energia, ressaltando mais uma vez a importância dos conhecimentos prévios adquiridos por eles em sua vivência escolar e pessoal. Seguem abaixo algumas das respostas:

“Sim, na área da saúde, por exemplo, o raio-X foi uma grande descoberta.”(Aluna B)

“Com certeza, o raio-X e a energia nuclear, por exemplo.” (Aluno H)

“Sim, na saúde o raio-X e no fornecimento de energia com as usinas nucleares.” (Aluno P)

Desse modo, o questionário possibilitou o levantamento dos subsunçores, que foram: calor, espectro de luz, transmissão de calor e radiação. A identificação dos subsunçores permitiu ao professor um planejamento ainda mais objetivo do próximo encontro.

Na etapa posterior à aplicação do questionário diagnóstico, iniciou-se a leitura sugerida pelo professor de dois textos⁵. O uso dos textos, que é uma estratégia comum na abordagem de Lipman, teve por intenção subsidiar uma roda de conversa, preparando-os para a reflexão e a construção do conhecimento. Os estudantes discutiram sobre a Filosofia da Ciência, com base no texto *As origens da ciência moderna*; e sobre o fazer ciência no mundo moderno, com base no texto *O trabalho em equipe e o progresso da ciência*.

A discussão de ambos os textos contribuiu para preparar os estudantes para compreenderem a postura diante da pesquisa, uma vez que essa postura de pesquisador é preponderante para o sucesso das comunidades científicas, a serem empregadas nos encontros subsequentes.

[...] consideremos a relação entre pensamento e diálogo. A pressuposição mais comum é de que a reflexão gera o diálogo, quando na realidade é o diálogo que gera a reflexão. Quando as pessoas se envolvem num diálogo, são levadas a refletir, a se concentrar, a levar em conta as alternativas, a ouvir cuidadosamente, a prestar muita atenção às definições e aos significados, a reconhecer alternativas nas quais não havia pensado anteriormente e, em geral, realizar um grande número de atividades mentais nas quais não teria se envolvido se a conservação não tivesse ocorrido. (LIPMAN; SHARP; OSCANYAN, 2014, p. 46).

⁵ Os referidos textos estão disponíveis no [Apêndice](#).

Percebeu-se que, inicialmente, os estudantes não se sentiram muito à vontade para a roda de conversa, tanto por vergonha quanto por receio de críticas. Muito dessa postura se explica porque a abordagem tradicional do estudo das várias ciências não os habitua a essa participação.

No entanto, com algumas intervenções do professor, instigando-os a expor suas ideias, iniciou-se uma troca de conhecimentos muito proveitosa. Destaca-se, portanto, a importância de uma postura mediadora e encorajadora do docente ao conduzir as atividades das comunidades de investigação.

Como os educandos não tinham o costume de produzir debates para trocas e construção de conhecimentos de forma dialógica, “filosófica”, principalmente na área de Ciências da Natureza, a roda de conversa serviu para o professor observar, instruir e apresentar algumas regras que seriam implementadas nas próximas aulas para a construção de uma comunidade investigativa.

Ressalva-se que nem todo tipo de diálogo ou debate reflete um desenvolvimento adequado de uma comunidade de investigação. O surgimento de risadas, conversas paralelas, exposição de ideias com falas de todos ao mesmo tempo, a falta de atenção, a falta de empenho em acompanhar o diálogo e a falta do comprometimento em construir o pensamento por meio da interação de ideias e argumentos com outras pessoas impedem o sucesso do diálogo ou debate em qualquer ambiente. Assim, tais regras foram explicitamente estabelecidas até mesmo como forma de orientar os alunos no sentido de prestigiarem as ideias uns dos outros em um processo de construção do conhecimento.

5.1.2 Segundo encontro – Aulas 3 e 4

O segundo encontro iniciou com a divisão dos alunos em cinco grupos, reunidos em pontos diferentes da sala de aula, para que se pudesse dar início às leituras dos textos⁶ de divulgação científica entregues pelo professor.

Como o objetivo desse debate era transformar a sala de aula em uma comunidade investigativa, para incentivar os estudantes a pensarem por meio de conceitos e a desenvolverem suas habilidades cognitivas, houve a necessidade de alguns esclarecimentos e de se estabelecerem alguns pré-requisitos básicos como: o respeito mútuo entre os participantes (estudantes e professor), a ausência de julgamentos entre esses e a prontidão para a razão com o intuito de que o debate alcançasse sua finalidade.

⁶ Esses textos constam do **Apêndice** desta dissertação.

Assim, como no primeiro encontro, o debate se iniciou de modo bastante tímido, com os alunos receosos em infringir as regras. Entretanto, logo entenderam que o importante é respeitar a opinião do próximo e se, eventualmente, discordar desta opinião, construir argumentos que mostrem seus pontos de vista, pois, de acordo com Lipmann (2014), o direito de discordar não é maior que o direito de concordar, e o direito de buscar a unanimidade tem que ser respeitado tanto quanto o direito de buscar a diversidade intelectual.

Uma discussão reflexiva não é um empreendimento fácil. Requer o desenvolvimento dos hábitos de ouvir e refletir. Significa que aqueles que se expressam durante uma discussão devem tentar organizar seus pensamentos de modo a que não divaguem sem um ponto concreto. (LIPMAN; SHARP; OSCANYAN, 2014, p. 160).

O debate teve pontos altos que merecem ser destacados. Parte dos textos despertaram bastante o interesse dos alunos, em particular ao apresentarem o fato de o estudo da radiação do corpo negro ter começado para resolver um problema da indústria, relacionando a temperatura dos fornos das siderúrgicas e sua emissão de radiação eletromagnética.

Outro momento que despertou bastante interesse dos estudantes foi quando se comparou a radiação emitida por um corpo negro com a radiação emitida pelas janelas dos apartamentos vizinhos à escola. Os discentes puderam fazer, ali mesmo, suas observações e acareações, no que foram favorecidos pelo fato de a aula ter sido ministrada no período vespertino.

Outros dois pontos que despertaram bastante atenção dos alunos: a) a forma como os textos orientadores da aula mostrou que a ciência é socialmente construída; b) o acidente radioativo do Césio-137 ocorrido em Goiânia. De fato, este último é um assunto ainda muito comovente, pois foi vivenciado por muitos familiares dos estudantes ali presentes, provocando, assim, um interesse elevado em entender mais sobre esse acidente, especialmente por uma perspectiva que ainda desconheciam: a científica.

O fato de essa experiência conhecida pelos estudantes lhes despertar interesse na abordagem do tema ilustra o valor que as teorias de Lipman e de Ausubel conferem às vivências do aprendiz no processo de construção do conhecimento. Dessa forma, destaca-se a importância para o processo de ensino e aprendizagem do conhecimento de mundo de cada estudante, marcado inclusive pelas narrativas de vida de seus familiares, vizinhos e amigos.

Durante o debate houve também vários momentos em que os alunos se lembravam das respostas dadas ao questionário do primeiro encontro e construía novas explicações, levando em conta a leitura dos textos orientadores e a discussão contemplada no debate. Essas

articulações e reelaborações das respostas revelaram, assim, que os estudantes superaram uma compreensão pouco técnica do tema, passando a um domínio maior dos conceitos envolvidos e a um conhecimento mais bem elaborado e sistematizado.

A miniaula expositiva sobre a “radiação do corpo negro” ofereceu maior subsídio para que os alunos complementassem o conhecimento construído durante a leitura dos textos e o debate. Durante a explanação do conteúdo foi notória a capacidade dos estudantes de associarem o que foi ensinado sobre Física Ondulatória nos anos anteriores com os ensinamentos sobre radiação discutidos nesse encontro. Também foi observado que não houve dificuldades com as explicações de Planck em afirmar que a energia é quantizada e que as radiações são produzidas como se fossem por osciladores em Movimento Harmônico Simples.

O segundo encontro foi muito produtivo. Apesar do relato dos alunos de não estarem habituados a analisarem textos de divulgação científica e de não terem esse formato de aula nas disciplinas de Ciências da Natureza, foi perceptível o aproveitamento nas análises das leituras textuais e no bom desenvolvimento das discussões durante o debate.

5.1.3 Terceiro Encontro – Aulas 5 e 6

O educador tem um papel, dentre vários, muito importante, que é de oportunizar aos seus educandos um ambiente que contribua para um aprendizado de descobertas, que os levem a uma construção de pensamento investigativo e que ocorra também uma relação entre humanidade, sociedade e tecnologia. Seguindo esse ponto de vista, o professor deve atuar como um mediador, para que os alunos possam desenvolver seus próprios saberes a partir de debates, questionamentos e atividades elaboradas pelo docente que visem a acrescentar, às concepções já existentes, novos saberes, conhecimentos, conceitos.

Nessa perspectiva, o terceiro encontro contemplou um experimento que tratava da absorção da radiação por corpos com superfícies de colorações claras e escuras. Os estudantes utilizaram os termômetros digitais para coletar os dados relativos ao aumento de temperatura, bem como a velocidade com que esse aumento de temperatura ocorreu, em latas de cor branca e preta. Para auxiliar na coleta desses dados, um aluno se posicionou à frente dos termômetros e informava aos demais estudantes as respectivas medições de temperatura. Por três vezes os dados foram comunicados aos colegas, que os anotaram, estabelecendo as medições da temperatura.

O processo de coleta de dados se realizou por três vezes. Essa opção foi decidida devido às observações relatadas por alguns estudantes, de que depois de algum tempo de exposição das latas à radiação da luz não se ocorreram mais variações nas duas últimas medições de temperatura.

O interessante, do ponto de vista da presente abordagem, foi que, para eles chegarem a essa conclusão, ocorreu espontaneamente um pequeno debate, pois os alunos estavam querendo repetir o processo para que as duas latas tivessem a mesma temperatura no final e um argumento convenceu a todos: a aluna comparou o que estava acontecendo no experimento com os dias de sol intenso, em que usamos camisa de cor preta ou branca, afirmando que, com a camisa de cor preta, sentimos muito mais calor, relacionando com a lata preta que apresentava maior temperatura.

Pode-se verificar que a aluna conseguiu associar um conjunto de conceitos distintos a um novo significado, obtido pela inserção desses conceitos vários (os subsunçores) ao conhecimento que acabou de desenvolver, e assim construir argumentos sólidos a ponto de conseguir influenciar os demais estudantes, consolidando o que foi trabalhado pela proposta da aula anterior de formar uma comunidade de investigação.

Esse debate espontâneo no terceiro encontro e a forma como os demais alunos se posicionaram, ao escutarem, avaliarem e aprovarem a fala da aluna, revelam como a dialogia estava se efetivando na prática da turma, e de forma eficiente.

Uma discussão científica, geralmente, está voltada para as questões factuais e as teorias de tais questões. As questões que surgem nas discussões científicas são, em princípio, questões a que se pode responder. Elas são possíveis de serem respondidas a partir da descoberta de evidências relevantes, consultando autoridades científicas reconhecidas, fazendo observações apropriadas, citando leis da natureza que sejam pertinentes ou realizando experimentos. (LIPMAN; SHARP; OSCANYAN, 2014, p. 163).

Ao finalizar o experimento de radiação do corpo negro, que teve duração de aproximadamente 25 minutos, os estudantes responderam três questionamentos elaborados pelo professor, referentes ao aprendizado adquirido e aos dados coletados distribuídos aos discentes.

A primeira questão não trouxe maiores dificuldades, pois apenas solicitava a identificação da lata que apresentou a maior variação de temperatura quando todas as latas foram submetidas à mesma incidência de radiação solar pelo mesmo intervalo de tempo. Os alunos responderam unanimemente como sendo a lata preta.

A segunda questão solicitava que se calculasse o comprimento de onda da radiação de maior intensidade irradiada nas paredes das latas, aplicando a Lei de deslocamento de Wien, para certificar se a faixa de comprimento de onda se encontra dentro da radiação infravermelha. No encontro anterior foi apresentado esse conteúdo, com o intuito de oferecer subsídio para a elaboração da resposta correta. Os dados obtidos durante o experimento permitiram inferir que a maior temperatura alcançada pela lata branca foi de 35°C; e, em relação à lata preta, a maior temperatura aferida foi de 37°C. Os alunos que tiveram maior facilidade para a resolução do exercício se ofereceram para ajudar os colegas com maiores dificuldades, ocorrendo, assim, uma interação espontânea, indicador da operatividade da comunidade de investigação, como dá a entender Lipman (1990; 1995).

A terceira questão tratou do cálculo da variação de radiação que cada lata pode apresentar ao aquecer. Observou-se que, novamente, os estudantes com maior facilidade conseguiram desenvolver a resposta mais rapidamente e se organizaram para, juntos, desenvolverem uma discussão que levassem os demais alunos a desenvolverem seus próprios raciocínios e cheguem na resposta correta, sem que lhes fossem dadas respostas prontas.

Este momento acabou marcando a aplicação do produto dessa dissertação, em que se demonstrou a percepção, por parte dos alunos, da necessidade de um trabalho colaborativo para desenvolverem um trabalho científico. Também ficou claro para eles, ainda que talvez não explícito, que há a necessidade de se conectar o novo conhecimento com o aprendizado já adquirido, bem como da importância da construção de uma comunidade investigativa para trocas e enriquecimento de ideias.

Uma vez que na primeira parte do encontro foi realizado o experimento, na segunda parte os alunos foram conduzidos ao laboratório de informática da escola para que se familiarizassem com o *Excel*, na criação de gráfico representando a demonstração da Lei de Planck. Embora muitos trabalhos aconselhem o emprego de simuladores – como o fazem Maciel (2015), Rossi (2015), Silva (2015), Ferreira (2016), Campos (2017), Vidal (2017), Martins (2018), Xavier (2018) e Campos (2019) –, não se identificou em nenhuma dessas pesquisas a recomendação do Excel.

Durante a aplicação dessa atividade, observou-se que a grande maioria dos alunos jamais tinha trabalhado com *Excel* e nem sequer tinha noção de sua utilidade. Na escola nunca haviam solicitado a eles qualquer tarefa para o uso desse aplicativo, tornando aquela aula não somente de análise científica, mas também de informática básica.

Visando à representação da curva da Lei de Planck em gráfico, foi requisitado aos estudantes que analisassem o máximo comprimento de onda exibido pelo aplicativo por meio da Lei de Wien.

Uma vez concluída a atividade, e identificando a praticidade do uso do *excel*, alguns estudantes questionaram o fato de os professores da área de exatas não solicitarem a construção de gráficos por esses aplicativos ao invés de terem que desenhá-los nos cadernos.

5.1.4 Quarto encontro – Aulas 7 e 8

Como o simulador PHET de radiação de corpo negro opera na análise de gráfico, a aula do encontro passado sobre *Excel* foi essencial para que os estudantes não apresentassem tantas dúvidas com relação à leitura e interpretação de gráficos. Apesar da dinâmica de separar os estudantes em grupos para responderem o questionário, isso não os impediu de trocarem informações com os demais grupos e produzirem uma discussão investigativa para uma melhor construção do saber no contexto de uma aprendizagem significativa, como propõe Ausubel (1980).

Ao responderem ao questionário, na questão que demandava conhecimento sobre abcissas e ordenadas, todos os grupos responderam sem dificuldades e corretamente (abscissa: comprimento de onda e ordenada: intensidade).

Na segunda questão, todos os grupos tiveram respostas satisfatórias em relação ao item “a”, que questionava se a lâmpada emitia luz visível; já no item “b”, apenas o segundo grupo teve uma interpretação equivocada da tabela, ao que foi orientado a respeito. No item c, o grupo cinco teve um desenvolvimento matemático equivocado, produzindo um resultado de 1×10^{-6} nm para o comprimento de onda, induzindo os integrantes do grupo a classificarem de forma errada esse comprimento de onda. Ocorrências como essas destacam a importância do professor como mediador do processo de ensino e aprendizagem, pois, identificando equívocos no raciocínio durante os debates e reflexões, pode fazer as devidas correções/orientações.

Em relação ao terceiro questionamento, acerca do ajuste de temperatura, todos os grupos realizaram corretamente a leitura e interpretação gráfica dos itens da pergunta, com ressalva ao grupo quatro, que associou erroneamente o comprimento de onda emitida pela lâmpada como maior que o comprimento de onda emitido pelo Sol.

Na última questão, voltada à construção de tabelas e gráficos, os grupos solicitaram elaborá-los no aplicativo de planilhas eletrônicas *Excel*, alegando que seria bom eles

praticarem o uso desse aplicativo, auxiliando-os em próximos desafios e no entendimento desse próprio conteúdo. Como os grupos tiveram cuidado com os Algarismos Significativos, os valores encontrados ficaram praticamente iguais e a dificuldade situou-se apenas na construção dos gráficos pelo *Excel*.

No processo de desenvolvimento dessa sequência didática, ficou evidenciado que a construção de condições para que ocorra a aprendizagem significativa é essencial para estimular não somente os estudantes, mas também os professores.

Para Ausubel [...], a essência do processo de aprendizagem significativa está em que ideias simbolicamente expressas sejam relacionadas de maneira não-arbitrária e substantiva (não-literal) ao que o aprendiz já sabe, ou seja, a algum aspecto relevante de sua estrutura de conhecimento (isto é, um subsunçor que pode ser, por exemplo, algum símbolo, conceito ou proposição já significativo). A aprendizagem significativa pressupõe que:

- a) o material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aprendiz, ou seja, relacionável à sua estrutura de conhecimento de forma não-arbitrária e não-literal (substantiva);
- b) o aprendiz manifeste uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não-arbitrária à sua estrutura cognitiva. (MOREIRA; MASINI, 2016, p. 22).

Logo, pensar a aprendizagem significativa demanda compreender as responsabilidades de todos os sujeitos diretamente envolvidos no processo de ensino e aprendizagem, tanto os estudantes quanto os professores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a aplicação da sequência didática sobre Radiação do Corpo Negro – idealizada e fundamentada na compreensão da Teoria de Educação, de Lipman, e na Teoria de Aprendizagem de Ausubel –, percebe-se a vantagem de uma abordagem que supera a concepção tradicional de ensino que deposita no educador toda a responsabilidade pela transmissão do conhecimento, por compreender equivocadamente que o docente é o único detentor de conhecimentos. Assim, estimular e orientar a construção do pensar do educando é essencial para se atingir uma dimensão verdadeiramente significativa da aprendizagem.

O trabalho aqui apresentado preocupou-se em inserir o educando nesse contexto, propiciando um ambiente que o levasse a se expressar, opinar, alçar hipóteses e até a reavaliar seu ponto de vista, tornando-se, assim, um fomentador de seu próprio conhecimento.

A execução do produto educacional conferiu uma dimensão para além do propósito inicial deste trabalho, pois, além de viabilizar o desenvolvimento intelectual dos alunos participantes do projeto, oportunizou uma formação particular para mim, na condição de professor, com abordagens e fundamentos teóricos não contemplados em minha formação inicial. Essa nova abordagem representou, e ainda representa, um enorme desafio, ao demandar uma dimensão teórica e um contínuo amadurecimento nas teorias tratadas.

No atual cenário educacional, o contexto em que o professor trabalha é de uma sociedade em desenvolvimento constante, exigindo que esse especialista busque reformular, ou até mesmo criar, novos tipos de abordagens dos conteúdos, não se pautando apenas em livros didáticos, a maioria dos quais apresenta roteiros finalizados e métodos aplicados já há algumas gerações. Em particular no Brasil, o processo de ensino e aprendizagem precisa avançar mais do que o ensino orientado fundamentalmente pelos livros didáticos tem possibilitado.

Para isso, deve-se compreender que a capacidade humana de adquirir conhecimento é motivada pela curiosidade. Assim, ao conseguir estimular a curiosidade dos educandos, o docente alcança maior atenção dos mesmos, favorecendo uma aprendizagem mais significativa.

Sabe-se que o aprendizado ocorre de maneiras distintas em cada indivíduo. Mesmo a mera experiência empírica de um docente o leva a perceber essa verdade. Por essa razão, o professor deve fazer a diferença, comportando-se não como um mero reproduzidor de informação, mas como um mediador no processo de ensino e aprendizagem, um

orientador/colaborador que busca explorar o interesse e a curiosidade dos alunos durante a busca de conhecimento.

A aplicação da sequência didática que compõe esta pesquisa alcançou um êxito maior devido à contribuição do modelo pedagógico da própria escola na qual foi aplicada, de modo que favoreceu a participação dos estudantes, uma vez que ofereceu o devido suporte para a devida aplicação da sequência didática: para os experimentos científicos e para o emprego da tecnologia disponível no laboratório de informática. Além disso, na aplicação de nossa pesquisa, destacaram-se no modelo pedagógico da escola os princípios educativos que orientam seu Projeto Político-Pedagógico (PPP) e a disciplina eletiva “Mergulhando no mundo quântico”.

O modelo pedagógico desse colégio de período integral de Goiás, onde foi aplicado o produto deste trabalho, fundamenta-se em quatro princípios educativos, que são: O Protagonismo, Os Quatro Pilares da Educação, A Pedagogia da Presença e A Educação Interdimensional. Dos princípios educativos que mais favoreceram a aplicação deste trabalho foram O Protagonismo e Os Quatro Pilares da Educação. Isso porque o Protagonismo possibilita ao educando o exercício de práticas e vivências de situações de aprendizagem por meio das quais exercitarão condições essenciais para o seu desenvolvimento pessoal e social, tendo como base a própria construção de identidade e o desenvolvimento da autoestima. Por sua vez, Os Quatro Pilares da Educação (aprender a conhecer, aprender a fazer, aprender a conviver e aprender a ser) auxiliaram para a construção da comunidade investigativa proposta pela Teoria de Educação de Matthew Lipman e concretizada nos debates descritos na sequência didática.

O trabalho realizado por essa instituição de ensino, priorizando tais princípios educativos, propicia uma mudança comportamental do estudante da 1ª à 3ª série do ensino médio, tornando-o maduro para a elaboração de pensamentos, percepção de pontos de vista contrários e exposição de opinião bem fundamentada. Essas características contribuíram, e muito, para o desenvolvimento de discussão em uma roda de conversa a partir dos textos de cunho científico e filosófico trabalhados durante a aplicação do produto desta pesquisa.

O formato de como é oferecida aos alunos a disciplina eletiva – que é uma disciplina temática com o objetivo de diversificar, aprofundar e enriquecer as competências e habilidades estabelecidas na BNCC (BRASIL, 2017) – favoreceu também a construção e o desenvolvimento da aplicação desta pesquisa, por possibilitar que a turma fosse formada por um número reduzido de estudantes em comparação com o número padrão de alunos na

maioria das salas de aula do país e pelo fato de que os estudantes matriculados cursam por interesse próprio a disciplina, no caso “Mergulhando no mundo Quântico”.

Soma-se a isso o fato de a disciplina ser apenas participativa e qualitativa, não tendo o critério de nota, como nas disciplinas tradicionais, o que reforça ainda mais a ideia de que o interesse desses estudantes é mesmo o de adquirirem conhecimento. Portanto, a sequência didática foi aplicada a estudantes que aceitaram participar deste projeto, embora nem todos tivessem como meta cursos de graduação na área de ciências exatas.

As diversas metodologias aplicadas, tendo como exemplo as leituras de textos de divulgação científica e filosófica, os debates, os trabalhos em grupo e a realização de experimentos – com o subsídio teórico das teorias de educação e de aprendizagem referenciadas – confirmaram-se eficientes, o que se comprovou pela análise de desempenho efetuada encontro a encontro. O êxito identificado na aplicação do produto

Esta pesquisa se pautou em como a filosofia pode exercer função interdisciplinar na medida em que permeia os vários fazeres científicos, particularmente em física, nos seus fundamentos epistemológicos e nas suas historicidades; e como o estudo de Física por meio das simulações, por exemplo, demanda a aplicação da metodologia própria da tecnologia/informática no estudo dos fenômenos da Física.

Durante a sequência didática, buscou-se abordar os conceitos apresentando as ligações com a Matemática, a Química, a Filosofia, a História, a Sociologia, a Língua Portuguesa e o campo da Medicina. Não apenas essa integração entre as disciplinas, mas também a dependência e pertencimento mútuo no âmbito do conhecimento.

No decorrer da composição das atividades, constatou-se a socialização, com trocas de informações, de argumentos e o reconhecimento da importância de conhecimentos que os estudantes já possuíam. Destacou-se, também, a relevância do papel do professor como mediador, ao acompanhar o processo de construção do conhecimento sem oferecer respostas prontas, e sim alternativas para que os próprios educandos pudessem exercitar seu protagonismo, sua autonomia e sua capacidade de construir as próprias considerações.

Os textos de cunho científico aplicados tiveram o intuito de exibir as condições históricas para a construção do conhecimento e dos conceitos no processo de formação da ciência, o que levou o docente a confirmar o quanto esses textos são relevantes para os educandos. Os textos, que tinham por objetivo primeiro a aprendizagem representativa, propiciaram que se promovessem excelentes debates e discussões, de modo que a construção do conhecimento acontecesse de forma socializada, conforme apregoa Lipman.

Discutir a construção social da história favoreceu a colaboração, ao aproximar as práticas dos cientistas no desenvolvimento da ciência e as práticas dos estudantes na comunidade de investigação. Isso porque os estudantes compreenderam que, assim como a teoria de um cientista colabora para futuras descobertas por outros, o conhecimento de um aluno colabora para a descoberta dos demais no âmbito da comunidade de investigação.

Os experimentos executados no laboratório de Ciências da escola (e também as simulações) visavam ao fortalecimento da assimilação da teoria de radiação dos corpos negros, assegurando a aprendizagem conceitual. Os experimentos se destacaram por promoverem o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes, ao unirem a teoria e a prática da experimentação, consolidando a aprendizagem significativa. Além disso, foram importantes porque demandaram a valorização do parecer dos estudantes, permitindo-lhes que refletissem também sobre o que observaram, estabelecendo as devidas relações.

Com a abordagem, os estudantes puderam compreender, ainda, que, mesmo em caso de construção equivocada de conceitos, é possível fazer acareação com as teorias e reencontrar uma direção correta, de modo a favorecer o protagonismo dos estudantes em uma aprendizagem significativa, que é o aspecto central da Teoria de Aprendizagem de Ausubel. Portanto, os debates objetivaram o desenvolvimento das habilidades elencadas por Lipman, na medida em que fomentavam a aprendizagem proposicional apresentada por Ausubel.

As ponderações acerca dos aportes de Ausubel e Lipman permitiram identificar que os fundamentos de Lipman subsidiam a execução das proposições de Ausubel. É como se a teoria de Ausubel se pautasse nos princípios que devem ser adotados e a teoria de Lipman se ocupasse de prover os meios necessários para sua consolidação na prática educativa. Essa relação complementar entre essas teorias revela como é pertinente a proposta de Silva Filho e Ferreira (2018) para que uma Teoria de Aprendizagem se faça acompanhar de uma Teoria da Educação, possibilitando sua conexão com a prática de sala de aula.

Esta pesquisa possibilitou identificar que, na medida em que a sequência didática progredia, percebeu-se lenta e progressiva mudança na forma como os alunos agiam e se posicionavam durante as atividades. Assim, a sequência didática, com apenas 4 encontros, foi capaz de propiciar algumas novas práticas e maneiras, favoráveis ao êxito da comunidade de investigação. Com base nessa pequena e promissora mudança detectada, surgem algumas instigantes indagações: Quais as potencialidades de um programa duradouro de ensino de Física com essas bases? Como torná-lo sustentável a longo prazo, de forma que conserve o protagonismo e a motivação dos sujeitos discentes?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTHOFF, L. **Física de partículas a partir do diálogo: uma proposta didática para o 1º ano do ensino médio noturno.** (Produto educacional). 2018. Disponível em: http://mnpef.fis.unb.br/docs/dissertacoes/2-2018/Produto_Educ_Lucas_Althoff.pdf. Acesso em: 7 ago. 2019.
- ANTUNES, L. C. S. **Radiação de Corpo Negro: Lei de Stefan-Boltzmann, Lei do Deslocamento de Wien.** Relatório de estágio (Mestrado em ensino de Física e Química). Universidade da Beira Interior. Covilhã, Portugal, 2012.
- ATTUX, R.; CRUZ, C. C.; SORIANO, D. C. **Notas de aula: capítulo 2 – Teoria Quântica da Radiação.** Disponível em: http://www.dca.fee.unicamp.br/~attux/notas_cap2.pdf. Acesso em: 13 abr. 2019.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional.** Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm. Acesso em: 3 ago. 2019.
- _____. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** 2017. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192. Acesso em 3 ago. 2019
- _____. _____. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica.** Brasília: MEC; SEB; DICEI, 2013. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 3 ago. 2019.
- BROCANELLI, C. R. **Matthew Lipman: educação para o pensar filosófico na infância.** Petrópolis, RJ: Vozes, 2010. (Coleção Educação e Conhecimento).
- CAMPOS, B. O. **Utilização de simulações computacionais no ensino de Física, na área da termologia.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas-MG, 2017.
- CAMPOS, H. E. S. **Experimentos de Física no Laboratório de Ciências e do Laboratório de Informática.** 2019. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) – Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- CEPI-PXT. **Projeto Político Pedagógico.** Goiânia, 2018.
- CHIBENI, S. S. **As origens da ciência moderna.** Campinas, SP: s/d. Disponível em: <https://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/cienciaorigens.pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.
- CHIZZOTTI, A. **Pesquisa Qualitativa em Ciências Humanas e Sociais.** 2. ed. São Paulo: Cortez, 2006.

DAVYDOV, V. V. Problemas do ensino desenvolvimental: A experiência da pesquisa teórica e experimental na psicologia. Trad. de José Carlos Libâneo. **Educação Soviética**, n. 8, agosto, 1988.

DELIZOICOV, D. e ANGOTTI, J. A. P. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.

EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

FAZENDA, I. **A Interdisciplinaridade: um projeto em parceria**. São Paulo: Loyola, 1993.

FERREIRA, A. C. R. **O uso do simulador PHET no ensino de indução eletromagnética**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda-RJ, 2016.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 2019.

GADÊLHA SEGUNDO, F. **O ensino da Filosofia para crianças: Matthew Lipman e a perspectiva da educação emancipatória na formação de sujeitos autônomos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

GUIMARÃES, F. F. **Proposta de sequência didática para o estudo da radiação do corpo negro no ensino médio**. 124 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.

JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago Editora, 1976.

KANTOR, C.; PAOLIELLO JÚNIOR, L. A. **Coleção Quanta Física**. vol. 3. São Paulo: Editora PD, 2010.

KOHAN, W. O.; LEAL, B.; RIBEIRO, A. (Orgs.). **Filosofia na escola pública**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2000.

LIPMAN, M. **A Filosofia vai à escola**. São Paulo: Summus Editorial, 1990.

_____. Estimulando a reflexão: método de professor americano recupera capacidade de pensar [entrevista]. **Revista Visão**, 23 out. 1985.

_____. **O pensar na educação**. Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

LIPMAN, M.; SHARP, A. M. A.; OSCANYAN, F. S. **Filosofia na Sala de Aula**. São Paulo: Nova Alexandria, 2014.

LIMA, C. R. A. **Tópicos de Laboratório de Física Moderna**. 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A. **Física contexto & aplicações: ensino médio**. vol. 3. São Paulo: Editora Scipione, 2014.

MACIEL, G. S. **Proposta de uma sequência didática sobre tópicos de Física Quântica através do uso de simulações computacionais e da determinação da Constante de Planck e da Determinação da Constante de Planck com LEDs aplicado ao ensino médio.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.

MARTINS, C. M. M. **Abordagem de conteúdos conceituais e procedimentais em Física através de simulações computacionais baseadas em atividades investigativas.** 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

MAZUR, E. *Peer instruction*: a revolução da aprendizagem ativa. Porto Alegre: Penso, 2015.

MORAIS, L. C. S. **O ensino de conceitos de Física Quântica no ensino médio utilizando experimentos de baixo custo.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa**: a Teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro Editora, 2016.

NOGUEIRA, N. N. **Interdisciplinaridade**: uma análise das Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio e dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. 2018. Dissertação (Mestrado em Educação Matemática) – Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS, 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica.** vol. 4, 1. ed. São Paulo: Blucher, 1998.

OLIVEIRA, W. D. **A concepção de interdisciplinaridade no ensino de Ciências nos cursos de formação inicial de professores do ICET/UFAM.** 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

PAVIANI, J. **Interdisciplinaridade**: conceitos e distinções. 2. ed. Caxias do Sul, RS: Educus, 2008.

PEREZ, S. **Mecânica Quântica**: um curso para professores da educação básica. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

ROCHA, M. N. **A necessidade do pensamento filosófico para a compreensão da Física**: um estudo inspirado em Wittgenstein no contexto da mecânica newtoniana. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ROSSI, D. D. **O uso de simulações virtuais como apoio ao currículo da SEE-SP para a disciplina de Física.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente-SP, 2015.

SANTOS, N. P. **A Física do tunelamento quântico**: uma proposta de organizador prévio para o ensino médio. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana-Ba, 2017.

SILVA FILHO, O. L.; FERREIRA, M. Teorias da aprendizagem e da educação como referenciais em práticas de ensino: Ausubel e Lipman. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v. 2, p. 104-125, n. 2, 28 ago. 2018.

SILVA, R. M. **Sequência didática multimídia para o ensino de efeito fotoelétrico**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda-RJ, 2015.

SILVA, S. M. **Uma experiência de inserção de Astronomia e Física Moderna no ensino médio a partir do Sol**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas e da Terra) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Física, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SILVEIRA, R. J. T. **A Filosofia vai à escola?** Estudo do Programa de Filosofia para Crianças de Matthew Lipman. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Educação, Campinas, SP: 1998.

_____. **Matthew Lipman e a Filosofia para Crianças**. Campinas, SP: Editora Autores Associados, 2003.

SOUZA, N. A. **A criança como pessoa: uma visão de Tomás de Aquino e Matthew Lipman**. Florianópolis, SC: Sophos, 2001. (Coleção de educador para educadores).

VIDAL, N. F. **O uso de simulações virtuais em oficinas de formação para professores de Ciências da Educação Básica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG, 2017.

XAVIER, A. P. **Laboratório virtual versus laboratório material: a aprendizagem de Física com intervenções tradicionais e investigativas**. 2018. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

APÊNDICE – Produto Educacional**APÊNDICE**

PRODUTO EDUCACIONAL

INTRODUÇÃO À FÍSICA QUÂNTICA: RADIAÇÃO DOS CORPOS NEGROS

Daniel Sampaio Nunes

BRASÍLIA, DF

2019

APRESENTAÇÃO

Estimado(a) professor(a),

Este Produto Educacional foi confeccionado com o objetivo de difundir o ensino do fenômeno da Radiação do Corpo Negro, valendo-se de uma abordagem interdisciplinar, com a finalidade de promover a construção de um raciocínio logicamente elaborado e sistematizado pelos estudantes de 3ª série do Ensino Médio. A opção escolhida foi a elaboração e a aplicação de uma sequência didática, fundamentada na Teoria de Educação de Matthew Lipman (2014), a partir de uma comunidade de investigação; e amparada na Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel (1980).

Além disso, como se pode constatar ao longo da Sequência Didática, o professor/pesquisador utilizou-se também do simulador PHET, do software (aplicativo) EXCEL e de um experimento de baixo custo, como maneira de diversificar as atividades e tornar as aulas mais atraentes, com vistas a propiciar ao estudante um conhecimento mais significativo.

A motivação para elaborar esta Sequência Didática – que contempla uma introdução da Física Quântica a partir do fenômeno da Radiação do Corpo Negro – se origina no fato de que a Física Moderna Contemporânea (FMC) é frequentemente relegada no contexto do Ensino Médio, acentuadamente na rede pública de ensino. A maioria dos professores de Física prefere privilegiar estudos de Física Clássica, muitas vezes desprezando por completo ou apenas abordando temas de FMC no final da terceira série do Ensino Médio.

As razões para isso são várias, dentre as quais: a imensa quantidade de conteúdos disponíveis abordando a Física Clássica, a escassez de material que aborde os temas da Física Moderna Contemporânea (FMC) com uma linguagem apropriada para estudantes e professores de Ensino Médio, a ausência de um convívio mais prolongado com a FMC durante a licenciatura e a conseqüente insegurança em trabalhar temas de FMC.

Por isso, este Produto Educacional foi projetado com o propósito de apresentar uma transposição didática sobre Física Quântica a partir do fenômeno da Radiação do Corpo Negro para o Ensino Médio. Torna-se, assim, uma alternativa para você, professor(a), utilizá-lo em suas aulas.

Este Produto é constituído por uma Sequência Didática destinada, preferencialmente, a turmas da 3ª série do Ensino Médio. A Sequência Didática foi planejada para ser executada em oito aulas, porém pode ser adaptada à realidade de sua unidade escolar, em especial no que diz respeito à carga horária e ao Currículo adotado. A Sequência Didática foi

estruturada de forma que cada aula possa desenvolver os elementos de ancoragem para a aula subsequente, de modo que os pontos de vista iniciais a respeito da Radiação do Corpo Negro possam ser analisados e confrontados com as contribuições dos demais estudantes e com as teorias científicas correspondentes, possibilitando uma melhor (re)construção do conhecimento.

Ressalta-se que o presente Produto já foi aplicado com êxito em uma escola de período integral com aulas duplas, porém há a possibilidade de aplicação, com as devidas adaptações, até para aulas simples e/ou em contraturno escolar.

Para que você, docente, tenha um panorama desta proposta, o Quadro 1 oferece uma breve representação das etapas e atividades contidas na Sequência Didática; o Quadro 2 apresenta o perfil da sequência didática; e o Quadro 3, o roteiro das aulas da sequência didática.

Enfim, reitero o convite para uma abordagem interdisciplinar, dialógica e reflexiva do ensino de Física. A você, professor(a), meus votos de sucesso nessa jornada!

Quadro 1 – Breve apresentação das etapas e atividades da Sequência Didática

AULAS	ATIVIDADE PROPOSTA	TEMPO DE AULA	RECURSOS UTILIZADOS
1 e 2	<p>A Filosofia e o Fazer Ciência no Mundo Moderno</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação do Questionário - Organizador Prévio para o levantamento dos conhecimentos prévios. • Leitura reflexivas do Texto 1, “As origens da ciência moderna”; e do Texto 2, “O trabalho em equipe e o progresso da ciência”. • Formação da roda de conversa para o debate sobre os textos (iniciação para a construção da comunidade investigativa). 	100 min	Questionário e textos distribuídos pelo professor
3 e 4	<p>Radiação do Corpo Negro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formação da comunidade investigativa. • Leitura e debate dos textos: “Radiação do Corpo Negro” e “As moléculas da vida e as radiações”. 	100 min	Textos distribuídos pelo professor
5 e 6	<p>Experimento Científico e Representação da Radiação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicação da lei de Wien, de modo a acompanhar a absorção da radiação por corpos que apresentam superfícies de coloração branca e preta. • Familiarização com o <i>Excel</i> e consequente elaboração de gráficos. 	100 min	Termômetros digitais de temperatura, latas de refrigerantes, lâmpada incandescente, <i>datashow</i> e computador.
7 e 8	<p>Questionário e elaboração de tabelas e gráficos relacionados à Radiação do Corpo Negro</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organização dos alunos em grupos de 5 componentes para a utilização do simulador PHET e responder as questões propostas. • Utilização do software <i>Excel</i> para a construção das tabelas e gráficos. 	100 min	Computador, <i>datashow</i> e questionário.

Fonte: Do próprio autor.

Quadro 2 – Perfil da sequência didática proposta:

<p>Tema: “Radiação do Corpo Negro” Campo do conhecimento: Física</p>	
Extensões pedagógicas	<p>Conceitual, Procedimental e Atitudinal baseadas, em particular, na terceira habilidade da primeira competência prevista na BNCC⁷ para a área das Ciências Naturais e suas Tecnologias, e respaldada no currículo referência da Rede Estadual de Educação de Goiás⁸.</p>
Público-alvo	3ª série do Ensino Médio – Período Integral.
Duração estimada	8 h/a.
Objetivo geral da sequência didática	<p>Estimular a criação de um raciocínio lógico, coerente e desenvolvido.</p> <p>Elaborar dispositivos plausíveis para proporcionar condutas que conduzam ao diálogo, ao questionamento, à reflexão, à evolução natural e à independência do estudante.</p> <p>Compreender os mecanismos de absorção da radiação por um corpo escuro.</p> <p>Demonstrar uma relação entre a absorção dos raios do espectro luminoso com o aumento de temperatura.</p> <p>Entender os fenômenos relacionados à radiação bem como sua aplicação no dia a dia, compreendendo as potencialidades e os riscos da radiação.</p> <p>Permitir o trabalho em grupo.</p> <p>Desenvolver a habilidade de manuseio de materiais e instrumentos.</p>
Trabalho investigativo cooperativo	Resolução de problemas em grupos de quantidades variadas de estudantes e debates (Comunidades de Investigação).
Abordagem pedagógica	<p>c) Focada no estudante: Aumentar a participação dos estudantes, de modo eficaz, em atividades individuais e colaborativas;</p> <p>d) Interdisciplinar: Promover os conceitos determinando ligações com a Matemática, a Química, a Filosofia, a História, a Sociologia, a Língua Portuguesa, e campos como o da Saúde/Medicina.</p>
Metodologia	<p>a) Aulas dialógicas: Voltadas à reflexão e à construção coletiva de conhecimento;</p> <p>b) Diversidade pedagógica: atividades experimentais, leitura de textos, interpretação de vídeos, simulações computacionais, listas de exercícios objetivos, pesquisas sobre temas de FMC,</p>

⁷ A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) está disponível em: <http://www.bncc.com.br>.

⁸ O currículo referência da educação básica da Secretaria de Estado da Educação de Goiás está disponível em: <http://portal.seduc.go.gov.br/Documentos%20Importantes/Diversos/CurriculoReferencia>.

	participação em debates.
Avaliação dos estudantes	Avaliação diagnóstica e formativa considerando os resultados de cada estudante nas atividades propostas, tendo como referência os seus conhecimentos prévios.
Avaliação da aprendizagem	Avaliação Qualitativa: avaliação informal e contínua das falas dos estudantes, buscando por evidências de aprendizagem de conceitos e desenvolvimento de competências e habilidades. Ao mesmo tempo, atentando-se para indicadores da necessidade de intervenção do professor.
Avaliação da sequência didática	Opinião dos alunos: Reunir visão dos estudantes acerca da sequência em uma autoavaliação; Opinião do pesquisador-professor: baseado no resultado da avaliação da aprendizagem e nas observações qualitativas do processo de ensino-aprendizagem.
Fonte: Do próprio autor.	
Quadro 3 – Roteiro das aulas da sequência didática	
Bloco de atividades: Desvendando mistérios da Física Quântica: a Radiação do Corpo Negro	
1º ENCONTRO (aulas 1 e 2)	<p>Atividade 1 – A Filosofia e o Fazer Ciência no Mundo Moderno O professor aplicará um questionário contendo 8 questões. Esse questionário permitirá identificar os conceitos subsunçores (Ausubel) que os alunos já possuem, relacionados à calor, espectro de luz, transmissão de calor e radiação. Facilitará, assim, o planejamento das aulas do 2º encontro, possibilitando que o docente desenvolva de forma objetiva a temática da Radiação do Corpo Negro.</p> <p>Situação inicial: O professor disporá os estudantes em círculo a fim de fomentar, imediatamente após as leituras reflexivas, um debate em formato de roda de conversa, com o intuito de fomentar paulatinamente o pensar Crítico, o pensar Criativo e o pensar Cuidadoso, com vistas a alcançar o Pensamento de Ordem Superior (Lipman).</p> <p>1ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 1: As origens da ciência moderna (CHIBENI, s/d). Os textos da Leitura Reflexiva funcionarão como organizadores prévios (Ausubel).</p> <p>Debates e reflexões: 1ª Seção de Leitura Reflexiva (texto 1)</p> <p>Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 1ª Seção de Leitura Reflexiva. Casos os alunos se mostrem tímidos, é importante que o professor os encoraje, incentivando-os a falarem</p>

aquilo que acreditam estar correto frente às indagações apresentadas. Esta pode ser a primeira vez de muitos estudantes nessa sistemática de debates, o que exigirá maior abertura e encorajamento pelo docente.

Sugestão de Situação-problema: Após o debate sobre *As origens da ciência moderna* o professor pergunta para a turma “Qual a origem da ciência moderna?” para voltar-se à reflexão de “O que a Filosofia tem, então, a ver com a ciência moderna?”. O professor apresenta a importância da construção do pensamento organizado e dos critérios metodológicos para o processo de investigação científica. A partir dessas reflexões, e de outras que possam surgir durante o debate, o professor destacará a contribuição da Filosofia, com exemplos práticos; e dos critérios metodológicos, elencando alguns dos mais relevantes, para o conhecimento científico. A Situação-problema, dentre outras coisas, oferece uma ou mais questões, com o intuito de instigar nos estudantes o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao raciocínio, à formação de conceitos, à prática de investigação, como apresenta Lipman; mas também a formação de novos conceitos, como deseja Ausubel.

2ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 2: *O trabalho em equipe e o progresso da ciência* (LUZ; ÁLVARES, 2014, p. 304-305)

Debates e reflexões: Seção de Leitura Reflexiva (texto2)

Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 2ª Seção de Leitura Reflexiva

Após o debate sobre *O trabalho em equipe e o progresso da ciência*, o professor pergunta para a turma “Alguém pode citar um cientista que fez uma grande descoberta?”, para a partir daí mostrar que essa descoberta demandou o conhecimento prévio de outras pessoas e pesquisas para que tivesse êxito. Assim, ao discutir como a ciência é um processo de desenvolvimento, além de ser um ato colaborativo, o docente destacará a importância de as pessoas, sobretudo seus estudantes, buscarem o conhecimento em áreas de seu interesse (científica, profissional, religiosa, familiar etc), com pessoas que terão as mais diversas visões de mundo, para que a partir daí consigam apresentar novas soluções para a respectiva área. Esse momento busca partir de situações próprias de interesse dos estudantes, o que favorecerá para que os novos conceitos adquiridos não sejam arbitrários, mecânicos, mas possibilitem a aprendizagem significativa. Além disso, são essenciais para a aprendizagem representacional (Ausubel).

Para enriquecer a aula, o professor poderá entregar aos alunos uma página com curiosidades sobre alguma descoberta científica e

	<p>bibliografia complementar. Essa estratégia busca ampliar as possibilidades de assimilação (Ausubel) na medida em que busca incentivar a prática de investigação para além da sala de aula (Lipman)</p> <p>Aplicação de: Autoavaliação.</p> <p>Tempo: Os estudantes devem levar até 20 minutos para responderem ao questionário. O rearranjo da sala para a roda de conversa deverá levar até 5 minutos. As leituras reflexivas dos textos e o debate poderá durar até 60 minutos. Para encerrar, a autoavaliação, quando empregado pela primeira vez, deverá tomar de 15 a 20 minutos da aula. As rodas de conversa e os debates buscam promover uma melhor elaboração pelos estudantes de suas ideias e favorece sua habilidade de tradução, pois têm que apresentar com linguagem própria os novos (Lipman) conhecimentos e conceitos. Naturalmente, que essa reelaboração demanda que os estudantes se valham de seus conceitos subsunçores de antes, com a inserção de novos conceitos, na medida em que são instigados à aprendizagem proposicional (Ausubel).</p>
<p>2º ENCONTRO (aulas 3 e 4)</p>	<p>Atividade 2 – Radiação do Corpo Negro</p> <p>Antes do início da atividade, o professor deve orientar a turma sobre as condições da participação respeitosa e colaborativa para o estudo e para a construção do conhecimento. Estabelecerá, assim, algumas regras de convivência.</p> <p>Situação inicial: É necessário organizar os estudantes em grupos de 3 a 5 membros preferencialmente, que se parte da comunidade de investigação, como proposto por Lipman, para subsidiar o desenvolvimento das respectivas habilidades; e de modo a favorecer a formação de novos conceitos, como pretende Ausubel.</p> <p>1ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 1: <i>A radiação do corpo negro</i> (Apêndice).</p> <p>Debates e reflexões: 1ª Seção de Leitura Reflexiva (texto 1)</p> <p>Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 1ª Seção de Leitura Reflexiva. As ponderações do professor são sempre importantes para assegurar que haja elaboração conceitual progressiva (Ausubel), e que o pensamento se oriente por processos criteriosos (Lipman).</p> <p>2ª Seção de Leitura Reflexiva – Texto 2: <i>As moléculas da vida e as radiações</i> (KANTOR; PAOLIELLO JÚNIOR, 2010, p. 85-86)</p>

Debates e reflexões: Seção de Leitura Reflexiva (texto2)

Intervenções e Ponderações docentes: durante o debate da 2ª Seção de Leitura Reflexiva

Em geral, para as duas seções de Leitura Reflexiva, os alunos farão um grande círculo na sala de aula para discutirem sobre os textos. O debate procederá da seguinte maneira: para cada tópico dos textos em análise será escolhido um dos grupos (comunidade de investigação) para expor seu entendimento e questionamentos. Os demais grupos, de forma organizada, pedindo a palavra, concordarão ou discordarão, acrescentando seus argumentos quando necessário. Em alguns momentos, sempre que oportuno, o professor intervirá para elucidar algumas dúvidas sem dar respostas feitas e, sim, estimular mais ainda a construção do saber.

Sugestão de Situação-problema: Após o debate sobre o texto *A radiação do corpo negro*, o professor apresentará algumas indagações à turma, dentre as quais: Mas, afinal, o que é um Corpo Negro para a Física? O que foi a “Catástrofe do Ultravioleta”? Qual a solução proposta por Max Planck para a “Catástrofe do Ultravioleta”?

Ao término do debate acerca do texto *As moléculas da vida e as radiações*, o professor apresentará à turma questões como: Explique como a radiação solar pode interferir no surgimento da vida na Terra? E como ela influencia na cadeia alimentar das espécies. Como se explica que a mesma radiação que pode ajudar no tratamento de doenças, também pode afetar a saúde?

Para enriquecer a aula, o professor poderá entregar aos alunos uma página com curiosidades sobre o tema e bibliografia complementar.

Miniaula explicativa: O professor apresentará uma explanação do tema “Radiação do Corpo Negro”, de aproximadamente 30 minutos. Neste momento, o docente explicará aspectos ainda não contemplados, como a explicação de Planck sobre a energia ser quantizada, bem como a forma como as radiações são produzidas, em semelhança com osciladores em Movimento Harmônico Simples.

Tempo: O docente precisa se atentar ao cronograma, para que a atividade se conclua de forma integral, com o tempo bem aproveitado. É importante salientar que a condução do tempo não precisa ser exageradamente rígida, mas precisa estar atenta ao desenvolvimento global da aula. Assim, para tratar das regras e organizar as comunidades de investigação (em grupos), o tempo deverá ser de uns 10 minutos. O tempo para o debate, inclusive com o tempo destinado à leitura dos textos e às anotações preparatórias, poderá durar aproximadamente 50 minutos. A miniaula expositiva

	deverá ter algo próximo a 30 minutos. Por fim, para uma avaliação serão destinados em torno de 10 minutos.
<p>3° ENCONTRO (aulas 5 e 6)</p>	<p>Atividade 3 – Experimento científico (1ª parte do encontro); e representação da radiação (2ª parte do encontro)</p> <p>Situação inicial: Ao dar início à aula, o professor prestará orientações gerais: que solicita que cada membro da respectiva comunidade investigativa acompanhe o experimento com anotações dos principais dados e informações, para comparação e discussão posterior.</p> <p>1ª Parte do Encontro – Experimento</p> <p>Miniaula explicativa: O professor retoma rapidamente a Lei de Wien, rememorando o encontro anterior e já instruindo como procederão ao experimento.</p> <p>Experimento: Aplicação da Lei de Wien, de modo a acompanhar a absorção da radiação por corpos que apresentem superfícies de colorações claras e escuras (1ª parte do encontro). O material deverá ser instalado previamente no laboratório de Ciências/Física. Ao ligar a lâmpada, com as latas em posições equidistantes, a temperatura é acompanhada pela leitura dos termômetros digitais.</p> <p>Recursos necessários: Termômetros digitais de temperatura e latas de superfície branca e de superfície preta (1ª parte do encontro); e Laboratório de informática (2ª parte do encontro)</p> <p>Sugestão de roteiro avaliativo pós-experimento: Ao finalizar o experimento de radiação do corpo negro, convém que o professor verifique se de fato os estudantes estarão aptos a responderem alguns questionamentos referentes aos conhecimentos trabalhados. Será, portanto, relevante sondar questões fundamentais, como: a) todos reconhecem qual a lata que apresentará maior variação de temperatura devido à radiação solar? b) os alunos estão preparados para aplicar a Lei de deslocamento de Wien para calcular o comprimento de onda da radiação nas paredes da lata e identificar se essa faixa de radiação se enquadra na radiação infravermelha? e c) conseguem, a partir dos dados, calcular a variação da radiação das latas de superfície branca e de superfície preta?</p> <p>Os experimentos e as simulações são importantes porque exploram a aprendizagem conceitual (Ausubel), ao passo que fomenta o pensamento e as habilidades inseridos na prática da investigação (Lipman)</p> <p>-----</p>

	<p>2ª Parte do Encontro – Familiarização com o <i>Excel</i> e elaboração de gráfico</p> <p>Instruções: Os estudantes deverão ser instruídos sobre como utilizar o <i>Excel</i> para a criação de gráficos, uma vez que no próximo encontro os alunos o utilizarão para representar em gráfico a curva característica da Lei de Planck referente ao experimento da 1ª parte do encontro.</p> <p>Recursos necessários: Laboratório de informática e <i>datashow</i></p> <p>Tempo: A aula deverá ser dividida em dois momentos, cada um de 50 minutos: a) na primeira parte do encontro, convém realizar o experimento e avaliação do êxito quanto a alguns objetivos fundamentais; b) na segunda parte do encontro, caso a escola conte com um laboratório de informática, o professor deve orientar a turma quanto ao uso do <i>Excel</i>, caso nem todos os alunos já o dominem.</p> <p>Aplicação de: sondagem de aprendizagem (informal e coletiva).</p>
<p>4º ENCONTRO (aulas 7 e 8)</p>	<p>Atividade 4 – Questionário e elaboração de tabelas e gráficos relacionados à Radiação do Corpo Negro.</p> <p>Situação inicial: Organizar os alunos em grupos de 5 componentes, que receberão um questionário por grupo a ser respondido com base no uso do simulador PHET, com o propósito de instigar a análise e o debate de modelos de radiação emitida por um corpo negro.</p> <p>Sugestão de Situação-problema: O questionário deverá apresentar questões para verificação de aprendizagem, que deve observar dentre outras coisas: a) o espectro de emissão de lâmpada incandescente; b) o ajuste de temperatura no simulador; e c) a construção de gráficos e tabelas relacionados à radiação.</p> <p>Debates e reflexões: após a simulação no PHET</p> <p>Intervenções e Ponderações docentes: no debate após a simulação da radiação de um corpo negro</p> <p>Recursos necessários: questionário, <i>datashow</i> e laboratório de informática</p> <p>Aplicação de: autoavaliação e pós-teste.</p> <p>Tempo: O tempo para a tarefa de simulação será de em média 50 minutos, com outros 30 destinados ao debate, e 20 minutos para autoavaliação.</p>

Fonte: Do próprio autor.

* Roteiro elaborado a partir do modelo de Althoff (2018).

❖ AULAS 1 E 2:

Este encontro se desenvolverá em dois momentos importantes, no primeiro os alunos responderão um questionário, individualmente, para mostrarem o que conhecem sobre calor, espectro de luz, transmissão de calor e radiação. O questionário, que servirá de organizador prévio, será recolhido pelo professor para auxiliá-lo no melhor preparo das aulas do segundo encontro.

No segundo momento, o professor distribuirá os textos de divulgação científica para leitura. Solicitará que cada aluno leia um parágrafo. Sempre que necessário, durante a leitura o professor fará paradas pontuais para discussões. Durante os debates, levará em consideração as participações dos alunos, para o melhor desenrolar a discussão. O docente evitará proferir respostas prontas. Assim sendo, como mediador, o professor começará a efetivar uma comunidade de investigação.

Deve-se ter o zelo de propiciar a participação efetiva dos alunos nas discussões. Quanto à mudança de paradigma no estudo de Física, a mediação do professor é fundamental para que o objetivo seja alcançado.

QUESTIONÁRIO-DIAGNÓSTICO

(Subsunçores relacionados: calor, espectro de luz, transmissão de calor e radiação)

	CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO INTEGRAL PEDRO XAVIER TEXEIRA			
	ANO LETIVO: 2018			
	Série: 3 ^a E. M.	Turma(s):[A][B][C]	Disciplina: FÍSICA	
	Professor (a): Daniel Sampaio Nunes			
Aluno (a):		Nº:	Data:	

- 1) Em um dia ensolarado, você resolve sair com seus amigos para saborear um delicioso sorvete. Ao escolher sua vestimenta, você acha que a cor da roupa que usará vai influenciar na sensação térmica da pele em contato com o tecido?
- 2) Quando você vai comprar roupas (camisas ou blusas), sabendo que nossa cidade registra temperaturas altas na maioria dos dias, quais cores você selecionaria? Lembrando que seu intuito é comprar roupas confortáveis e que manteriam sua pele sempre fresca.
- 3) Nas férias de julho, você e sua família decidiram acampar para aproveitarem a natureza e se desligarem da correria da cidade. Em uma noite de céu estrelado e lua cheia, vocês decidiram fazer um luau para celebrar esse momento maravilhoso, com direito à fogueira, música e muita diversão. Nesse momento, em que estão todos reunidos ao redor da fogueira com a intensão de se aquecerem, ocorrem processos de transmissão de calor. Quais são esses processos?
- 4) Após as chuvas de verão é comum observarmos o aparecimento de arco-íris. Esse fenômeno ocorre porque a luz branca emitida pelo sol, que é policromática, atinge as bordas das gotículas de água ou de vapor das nuvens. Ao ser desviada essa luz se decompõe nas sete cores que formam os arco-íris visíveis ao olho humano. Quais são essas cores?
- 5) Em um experimento no laboratório de Física, dois corpos são submetidos à elevação de temperaturas diferentes. O primeiro corpo, ao ser aquecido, apresentou coloração alaranjada e o segundo apresentou coloração azulada. Sem utilizar o auxílio de um termômetro, qual dos dois corpos deve apresentar maior temperatura?

- 6) Ao analisarmos luz e calor, descobrimos que existe apenas uma única característica que os diferencia. O que distingue a luz do calor?
- 7) Durante o século XIX, muitos físicos estavam envolvidos no estudo, tanto experimental quanto teórico, do espectro da radiação emitido por corpos incandescentes. Uns dos motivos que despertaram o interesse dos físicos para tal estudo foi a energia elétrica e a gás que garantiam a iluminação noturna das cidades europeias. O físico alemão Gustav Robert KIRCHHOFF, buscando um modelo teórico para entender essa emissão e absorção da radiação dos corpos aquecidos, conceituou o que seria para a Física o Corpo Negro.
Assim sendo, qual o seu entendimento do que seria um Corpo Negro de acordo com a Física?
- 8) O estudo sobre radiações traz alguma relevância para a humanidade?

“Uma nova verdade científica não triunfa com a convicção dos seus opositores ou através do esforço em fazê-los ver a luz; triunfa, geralmente, porque esses opositores finalmente morrem e cresce uma nova geração mais familiarizada com ela.”

Max Planck

LEITURA REFLEXIVA: TEXTO 1

	CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO INTEGRAL PEDRO XAVIER TEIXEIRA			
	ANO LETIVO: 2018			
	Série: 3ª E. M.	Turma(s):[A][B][C]	Disciplina: FÍSICA	
	Professor (a): Daniel Sampaio Nunes			
Aluno (a):		Nº:	Data:	

Introdução à filosofia da ciência
Prof. Dr. Silvio Seno Chibeni
Departamento de Filosofia, Unicamp

AS ORIGENS DA CIÊNCIA MODERNA

1.1. Ciência e filosofia

Desde a sua origem, o homem sempre cuidou de obter conhecimento sobre os objetos que o cercam. Esse conhecimento primitivo é motivado por algo externo à atividade cognitiva propriamente dita: a necessidade de controle dos fenômenos naturais, com vistas à própria sobrevivência biológica. A Grécia Antiga testemunhou, no entanto, o surgimento de uma perspectiva cognitiva nova: a busca do conhecimento pelo próprio conhecimento, por mera curiosidade intelectual. Aqueles que cultivavam essa busca do saber pelo saber foram chamados *filósofos*, “os que amam ou buscam a sabedoria”.

Naquela época e, em certa medida, por muitos séculos da era cristã, a filosofia englobava todos os ramos do conhecimento puro (em contraste com o que chamavam “artes” ou “técnicas”). Uma primeira tendência à especialização levou gradualmente à separação de uma grande área de investigação, que se ocupava dos fenômenos naturais, ou seja, aqueles que não dizem respeito ao homem, enquanto ser intelectual, moral, político, etc. Essa área, a que se chamou *filosofia natural*, experimentou grande impulso a partir do século XVII, quando passou a ser cultivada sob um novo enfoque metodológico. Foi justamente dessa nova filosofia natural que surgiu a *ciência*, como hoje a entendemos.

Hoje em dia costuma-se considerar pertencentes ao tronco principal da Filosofia as disciplinas da estética, lógica, ética, epistemologia e metafísica, sendo que as duas primeiras mostram tendência à autonomização. De forma muitíssimo simplificada, pode-se dizer que a estética examina abstratamente a beleza e a feiura; a lógica investiga o encadeamento formal das proposições; a ética estuda questões relativas ao bem e ao mal, aos direitos e deveres; a epistemologia ocupa-se do conhecimento, suas origens, fundamentos e limites, enquanto que a metafísica procura especular sobre a natureza última

das coisas. Fora esses ramos fundamentais, há ainda diversos outros que resultam de suas interconexões e especializações, como a filosofia política, a filosofia da linguagem, a filosofia da ciência, a teologia, etc.

1.2. Um novo método de investigar o mundo

Embora a caracterização precisa do novo método de investigação exija detalhamentos que não faremos aqui, dois de seus traços fundamentais merecem destaque: a *experimentação* e a *matematização*.

Os responsáveis pela criação da ciência moderna, entre os quais se destaca a figura de Galileu Galilei, acreditavam que os estudos anteriores em filosofia natural exibiam uma dependência excessiva de especulações metafísicas e um apego ilegítimo à opinião de autoridades, particularmente Aristóteles, cujas doutrinas dominavam a cena filosófica havia mais de 1800 anos. Os novos filósofos contrapunham a isso a observação da própria natureza. É nessa observação – a *experiência* – que se encontrariam os verdadeiros fundamentos do conhecimento da natureza.

Na constituição da nova ciência, tão importante quanto assentar as bases do conhecimento na experiência foi obter essa experiência de forma *controlada e sistemática*, por meio daquilo que se chamou *experimentos*. Para tomar um exemplo famoso daquela época, sabe-se que Galileu concebeu vários desses experimentos para observar como os corpos pesados caíam. Para ele, não bastava soltar uma pedra e olhar sua descida. Ele queria saber *quantitativamente como* ela o faz. Para tanto, concebeu o famoso experimento do plano inclinado, descrito em seu livro *Discursos e Demonstrações Matemáticas sobre Duas Novas Ciências* (1638). Com a inclinação, retarda-se a queda, facilitando a *medição* de tempos e distâncias. Esse experimento comprova a lei galileana da queda dos corpos, segundo a qual na queda o corpo percorre distâncias proporcionais ao quadrado dos tempos de queda.

Esse exemplo ajuda a ver vários outros pontos importantes na nova abordagem.

O primeiro é que um experimento só é concebido com vistas ao esclarecimento de um dado *problema*, previamente configurado na tradição de investigação. Nesse caso, o problema era dado pela suspeita de Galileu de que a tese aristotélica, de que os corpos mais pesados caem mais rápido do que os mais leves, estava errada. O experimento de Galileu permite resolver essa dúvida de forma objetiva.

Um segundo ponto é que os dados brutos de um experimento são pouco ou nada significativos se não forem *refinados intelectualmente*. No exemplo em análise, deve-se, para chegar à lei de Galileu, “descontar” a interferência de causas espúrias, como o atrito e a imperfeição dos relógios da época (batimento do pulso e relógio d’água, inicialmente). Fazer isso sem mutilar fundamentalmente os resultados é algo que exige perícia e verdadeira genialidade.

Por fim, o exemplo destaca o segundo dos grandes traços da nova ciência, mencionados acima, que é a preocupação em obter uma descrição quantitativa dos fenômenos, por meio de sua matematização. Vale notar, como contraste, que na visão aristotélica, nem mesmo a física poderia ser matematizada. As leis físicas assumiam, segundo Aristóteles, um caráter puramente qualitativo.

Num ensaio publicado em 1623, intitulado *Il Saggiatore* (“O Ensaíador”), Galileu expressou, numa metáfora que se tornou famosa, sua nova proposta de estudo da natureza, que, como estamos vendo, se tornaria fundamental no desenvolvimento da ciência moderna:

“A filosofia está escrita neste grandíssimo livro, que continuamente está aberto diante de nossos olhos (eu quero dizer o universo), mas que não se pode entender se não se aprende a entender a língua, e a conhecer os caracteres nos quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, e os caracteres são os triângulos, círculos, e outras figuras geométricas, sem cujos meios é humanamente impossível entender uma só palavra; sem eles [a filosofia] é um vão caminhar por um obscuro labirinto” (Tradução de Henrique Fleming, em <http://www.hfleming.com/confgal2.html>).

Uma das consequências desse novo enfoque de pesquisa foi a necessidade de um uso cada vez mais extenso de *aparelhos de observação*. Por exemplo, Galileu, ele próprio, pôs a óptica a serviço das observações astronômicas, construindo sua famosa luneta; construiu também o primeiro relógio de pêndulo. Essas observações instrumentais tiveram um papel crucial na implantação da nova ciência.

1.3. Uma nova visão de mundo

Até aqui, tratamos do surgimento da ciência moderna focalizando mais a questão do método de investigação da natureza. Mas, evidentemente, o surgimento da ciência, no sentido usual do termo hoje em dia, envolveu muito mais do que isso. Como veremos em outros tópicos desta série, o conhecimento científico não se resume à observação sistemática e registro de fenômenos, sendo encapsulado em *teorias*. Pois bem: a época de eclosão da ciência moderna (séculos XVI a XVIII) ficou marcada não somente pelo desenvolvimento de novos procedimentos de investigação, mas também pela descoberta de novos fenômenos e, principalmente, pelo desenvolvimento de novas teorias capazes de explicá-los. Tais teorias trouxeram uma nova visão científica do mundo, que contrastava fortemente com a visão então predominante, proveniente de uma mistura de elementos da filosofia antiga e da filosofia e religião medievais.

O núcleo das novas teorias da ciência foi constituído gradualmente, pelo trabalho de muitos cientistas e filósofos – sendo que essa distinção ainda não estava claramente delineada na época –, entre os quais estão o já citado Galileu, René Descartes, Christiaan Huygens, Robert Boyle e Isaac Newton. Com Descartes, sobretudo, desenvolveu-se uma perspectiva teórica que serviria como pano de fundo de toda a ciência, nos séculos XVII, XVIII e XIX. Essa perspectiva ficou conhecida como *mecanicismo*, visto que, nela, a base de *tudo* o que ocorre no mundo físico seriam processos mecânicos, ou seja, que envolvem o movimento de corpos.

No mecanicismo, o mundo corporal é caracterizado por um número muito pequeno de “*qualidades primárias*”, isto é, inerentes aos próprios corpos: extensão, forma, tamanho, movimento, impenetrabilidade, número e arranjo de partes. É a partir dessas qualidades que todas as demais, como as cores, os sons, os cheiros, os gostos, etc., deveriam ser explicados. Descartes e seus sucessores próximos lançaram, assim, um fértil *programa de investigação*, que forneceria material de pesquisa por vários séculos, nas mais diversas áreas da ciência, incluindo-se aí a química e a própria biologia. Inegavelmente, parte de sua excepcional fertilidade se devia justamente ao fato de propor uma base extremamente simples para o estudo dos corpos, uma base, além disso, que permitia a implementação plena de um dos dois ideais metodológicos principais da nova ciência, a matematização: formas e movimentos podiam ser tratados geometricamente, dentro da nova ciência mecânica desenvolvida pelos referidos pioneiros.

Um importante complemento, ou refinamento, da visão mecanicista de mundo foi introduzido por Newton. Ele obteve sucesso sem precedentes na formulação de princípios teóricos quantitativos precisos para a nova mecânica, mostrando ainda, de forma admirável, como lidar com a questão

delicada da idealização e interpretação dos fenômenos, e como pôr a teoria mecânica a serviço da meta de prever e explicar toda uma rica variedade de fenômenos físicos a partir de pressupostos simples. Na mecânica Newtoniana, as leis básicas do movimento foram estabelecidas, com o auxílio de algumas noções físicas novas, como a de massa e força. E, entre as forças, cumpriu papel de destaque a força de gravitação universal. A assimilação filosófica deste último elemento, inteiramente novo, causou muita discussão e mesmo perplexidade, visto que não estava clara – como talvez não esteja até hoje – a questão das causas da atração gravitacional. Seja como for, a nova mecânica funcionava muito bem na explicação e predição dos fenômenos naturais, e constituiu o modelo ou “paradigma” de toda a ciência moderna, até que alguns de seus princípios viessem a ser questionados e modificados no início do século XX.

1.4. Sites e livros recomendados

- Notas de aula, “Filosofia: Noções introdutórias”, “Epistemologia: Noções introdutórias” e “Observações sobre as relações entre a ciência e a filosofia”, Prof. Silvio S. Chibeni (DF-Unicamp), www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/textosdidaticos.htm
- Notas de aula do curso “Nascimento e Desenvolvimento da Ciência Moderna”, Prof. Valter A. Bezerra (UFABC): <http://sites.google.com/site/filosofiadacienciaufabc/cienciamoderna>
- Texto “A filosofia e as explicações para o funcionamento da natureza”, Thaís Cyrino de Mello Forato, Curso “O éter, a luz e a natureza da ciência”. Núcleo de Pesquisas em Inovação Curricular (NUPIC-FE-USP), http://www.nupic.fe.usp.br/Projetos%20e%20Materiais/material-didatico-dehistoria-e-filosofia-da-ciencia/textos%20e%20mais/TEXT0_01.pdf
- Artigo: Galileu fez o experimento do plano inclinado? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 7, n.1, 2008. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen7/ART11_Vol7_N1.pdf
- Os dez mais belos experimentos da física. Textos do Prof. C. A. dos Santos (IFUFRGS), sobre enquete da revista *Physics World*: <http://www.if.ufrgs.br/historia/top10.html>
- Artigos sobre Galileu do Prof. Pablo R. Mariconda (DF-FFLCH-USP), disponíveis em: <http://www.scientiaestudia.org.br/associac/pablo.asp>
- COHEN, I. B. *O Nascimento de uma Nova Física*. Trad. G. de Andrada e Silva. São Paulo, Edart, 1967. (*The birth of a new physics*. London, Peguin, 1992.)
- LOSEE, J. *Introdução Histórica à Filosofia da Ciência*. Trad. B. Climberis. Belo Horizonte, Itatiaia e São Paulo, Edusp, 1979. (*A Historical Introduction to the Philosophy of Science*. 2 ed. Oxford, Oxford University Press, 1980.)
- LUCIE, P. *A Gênese do Método Científico*. Rio de Janeiro, Campus, 1977.

LEITURA REFLEXIVA: TEXTO 2

	CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO INTEGRAL PEDRO XAVIER TEXEIRA			
	ANO LETIVO: 2018			
	Série: 3ª E. M.	Turma(s):[A][B][C]	Disciplina: FÍSICA	
	Professor (a): Daniel Sampaio Nunes			
Aluno (a):		Nº:	Data:	

O trabalho em equipe e o progresso da Ciência

(Fonte: Física Contexto & Aplicações, Volume 3, p. 304-305.¹)

Ainda há quem enxergue a Ciência como um conjunto de conhecimentos que decorre de ideias brilhantes e da genialidade de alguns. A história da Ciência, entretanto, vem mostrando justamente o contrário: com frequência, avanços importantes acontecem a partir da integração de habilidades e conhecimentos de muitos (Figura 9.22).



Figura 9.22: O trabalho conjunto é essencial para grandes conquistas.

Procure saber como se deu o surgimento da lâmpada, por exemplo. Provavelmente você ficará convencido de que Edison, diferente do que diz a crença popular, não foi o inventor isolado da lâmpada. Ele contava com a ajuda de técnicos e especialistas e, antes dele, outras equipes de pesquisadores já haviam elaborado versões menos eficientes da lâmpada elétrica. O que ele e sua equipe fizeram foi aperfeiçoá-la, viabilizando seu uso e produção em larga escala.

O mesmo é verdade para a relatividade de Einstein. Ele não chegou às teorias que lhe deram fama de forma totalmente isolada. Ele estava ciente dos problemas que a Física enfrentava em sua época, bem como das opiniões de outros cientistas. A teoria da relatividade é fruto não apenas de sua capacidade lógica, mas também da capacidade de reunir, de uma maneira sintética e organizada, o que outros cientistas já afirmavam. Aliás, a ideia central do primeiro postulada da teoria da relatividade especial, que estudamos neste capítulo, já havia sido proposta séculos antes, de uma maneira um pouco menos abrangente, por Galileu. A contração do espaço, que neste capítulo chamamos de

contração de Lorentz, recebeu esse nome porque já havia sido concebida pelo físico Hendrik Lorentz e também pelo físico George Fitzgerald, apesar de eles terem dado interpretações bem diferentes das de Einstein. As transformações de coordenadas entre referenciais, uma das ferramentas mais importantes dessa teoria, são feitas com o auxílio de equações que já haviam sido deduzidas por Lorentz e, por isso, são conhecidas como transformações de Lorentz. Além desses, Poincaré, Minkowski, Besso e muitos outros cientistas tiveram participação direta ou indireta no desenvolvimento da teoria da relatividade, tanto da especial como da geral.

No livro *Algumas razões para ser um cientista*, o físico inglês Michael Berry, ao fazer referência à comunidade de pesquisadores, comenta:

"Nós cooperamos simplesmente porque os modos de funcionamento da natureza ficam tão sutilmente ocultados que nenhum pesquisador ou pesquisadora individual pode descobri-los sozinho. Somos muito mais espertos em conjunto do que separadamente, portanto faz sentido cooperar [...]".

Atualmente, o trabalho em equipe vem sendo valorizado e integrado no dia a dia de indústrias e corporações. Grandes inovações comerciais, assim como descobertas científicas, raramente são obtidas por criações isoladas. A criatividade vem sendo encarada, na visão atual da psicologia e da educação, como um fenômeno social.

A comunicação multidisciplinar

Além do trabalho em equipe, a comunicação entre disciplinas vem se destacando como habilidade importante para a pesquisa em Ciências, principalmente quando o trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de tecnologias ou a solução de problemas complexos. A relação entre a Física, a Química, a Biologia e outras ciências afins proporciona uma visão mais ampla do assunto, ajudando cada membro da equipe a expor sua opinião com mais clareza. É bem provável que a solução para problemas contemporâneos, como a fome, a poluição ou a pobreza, surja da cooperação de pesquisadores que saibam transmitir sua opinião técnica para profissionais de outras áreas. Essa comunicação interdisciplinar facilita a cooperação e ajuda a equipe a chegar a soluções que, isoladamente, nenhum de seus membros chegaria (Figura 9.23).

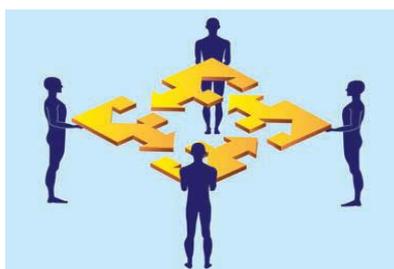


Figura 9.23 – A multidisciplinaridade contribui para o entendimento e a solução de problemas complexos.

O futuro da Ciência

É verdade que a Ciência já conseguiu muito e que, às vezes, seus produtos e processos parecem ter saído de um filme de ficção. Contudo, exatamente por já ter alcançado tanto, o próximo passo se torna cada vez mais difícil. Assim, a dependência do trabalho em equipe e da comunicação multidisciplinar será cada vez maior. Se é notável o que já se conseguiu, é ainda mais surpreendente o que está por vir. As pesquisas modernas não pararam nos tópicos apresentados neste capítulo.

Existe uma equipe de cientistas na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, por exemplo, que estuda o quão pequena uma gota de água pode chegar a ser e qual a relação de seu formato com as características da superfície na qual ela se apoia. Outra equipe da Universidade de Chicago, usando sensores e supercâmeras, mediu o tempo e a velocidade de deformação de uma folha de papel por um bloco pesado colocado sobre ela. Por mais espantoso que possa parecer, o papel pode ser comprimido por semanas antes de atingir uma espessura final.

Outras tecnologias modernas já em uso, como a levitação magnética, continuam a ser desenvolvidas e aprimoradas por equipes de pesquisadores em todo o mundo. A levitação magnética, no ambiente de laboratório, já é feita inclusive com seres vivos. Sapos e rãs flutuaram no ar pela força magnética invisível que contrabalanceava o peso desses anfíbios. O último feito da levitação magnética foi o de suspender no ar um lutador de sumô de mais de cem quilos! Mas, para quem acha a levitação surpreendente, é igualmente espantoso que a invisibilidade, graças ao desenvolvimento dos *meta-materiais*, se torne viável em um futuro não muito distante. Esse tipo de material, por possuir índice de refração negativo, direciona a trajetória da luz de tal modo que ela seria capaz de contornar o objeto e sair do outro lado, na mesma direção que ela teria se dirigido caso o objeto não estivesse lá (Figura 9.24). Assim, um observador na frente de um objeto poderia ver tudo o que está atrás dele, o que faz com que o objeto em si desapareça!

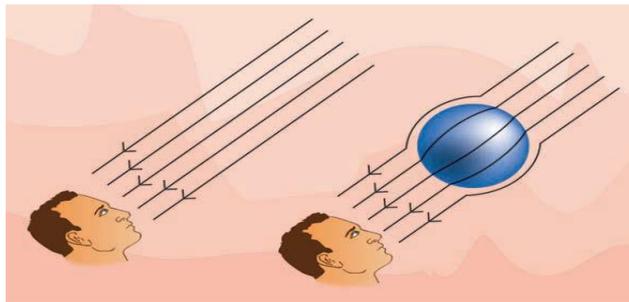


Figura 9.24 – O meta-material faz com que a luz contorne o objeto (direita) e chegue aos olhos do observador como se o objeto não estivesse presente (esquerda).

❖ AULAS 3 E 4:

As aulas devem se iniciar com a formação de grupos de alunos, 3 a 5 membros preferencialmente. Cada grupo ficará responsável por expor o entendimento e o questionamento do tópico escolhido dos textos em análise. Receberão os textos para iniciarem a leitura e se organizarem como comunidade de investigação.

Após a leitura dos textos, assimilação dos tópicos para a exposição e o levantamento dos questionamentos de cada grupo, as comunidades de investigação formarão um grande círculo na sala de aula para realizarem o debate em uma roda de conversa, mediada pelo professor.

Em alguns momentos, sempre que oportuno, o professor intervirá para elucidar algumas dúvidas sem dar respostas feitas e, sim, estimular mais ainda a construção do saber. Contudo, o docente deverá oferecer subsídio sempre que necessário.

LEITURA REFLEXIVA: TEXTO 1



**CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO
INTEGRAL PEDRO XAVIER
TEXEIRA**



ANO LETIVO: 2018

**Série: 3^a
E. M.**

Turma(s):[A][B][C]

Disciplina: FÍSICA

Professor (a): Daniel Sampaio Nunes

Aluno (a):

Nº:

Data:

A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

“A Física desenvolvida até então já é completa, no entanto, temos apenas duas pequenas nuvens no horizonte”. (Lord Kelvin)

1 - Introdução

Já imaginou um mundo em que você não saiba o que é uma tela touchscreen, um smarphone, um tablet, um GPS, um computador, uma televisão a cores, enfim, toda tecnologia com a qual somos bombardeados diariamente? Será que essa realidade está muito distante dos dias atuais? A frase com que iniciamos este texto foi uma frase defendida por Lord Kelvin no final do século XIX, quando a realidade da época era muito semelhante à realidade imaginada com o auxílio das nossas perguntas. Nessa época, os conhecimentos e teorias desenvolvidos pelos cientistas (“grandes” e “pequenos”) levaram à crença de uma natureza contínua, completamente previsível e que obedecia ou às Leis de Newton ou às equações de Maxwell. Entretanto, duas coisas não batiam: (1) Como explicar as radiações emitidas por um pequeno orifício aquecido, ou melhor, por um “corpo negro”? (2) Seriam os fenômenos eletromagnéticos variantes, ou seja, o fenômeno observado a partir de um referencial seria diferente em outro referencial? Se não, o que teria de errado nos modelos científicos adotados até então? O objetivo deste texto é trazer discussões referentes ao desenvolvimento da Física ao longo do século XX.

2 - A ideia da Quantização

Conversaremos aqui sobre a “primeira pequena nuvem” com a qual os cientistas do final do século XIX se depararam: explicar a radiação emitida por um corpo negro. Como você já deve ter percebido, uma característica bastante comum dos cientistas é a de usar as teorias que possuem “à disposição”, buscando explicar questões completamente novas.

Algumas vezes percebemos que o modelo disponível não dá conta de uma coisa ou outra e, então, nos propomos a definir modificações nos mesmos ou até mesmo um completo abandono deles e adoção de outros. Como já vimos em diversos momentos da história da Física Clássica, esse movimento nunca é imediato. Sempre surgirão adendos ao modelo utilizado, sendo necessários problemas-chave para causarem uma ruptura na Ciência Normal, iniciando a chamada fase pré-

paradigmática, definida por Thomas Kuhn, em seu famoso livro *Estrutura das Revoluções Científicas*, publicado em 1975.

Com a radiação de Corpo Negro não foi nem um pouco diferente. Durante os séculos XVIII e XIX, a relação da sociedade europeia com o trabalho passou por uma transformação brusca. Uma população que até então vivia no campo e produzia o que consumia substituiu seu trabalho por um trabalho assalariado e também pelo uso das máquinas.

Foi envolta por esse contexto que surgiram na Física os primeiros estudos sobre a Física Térmica, buscando uma maior eficiência para as máquinas utilizadas. E também surge, dentro desse contexto, uma outra questão que trouxe implicações diretas para o desenvolvimento do que conhecemos como Radiação de Corpo Negro: como relacionar a temperatura dos fornos das siderúrgicas, com a radiação eletromagnética emitida?

2.1 - Radiação de corpo negro

Mas, afinal, o que vem a ser a radiação de corpo negro? Para termos uma ideia, pensemos na seguinte situação: Quando, da janela do quarto de um apartamento, olhamos, durante o dia, para a janela de um edifício vizinho, ela parece escurecida. Entretanto, no interior de nosso quarto, tudo parece claro, mesmo sem acendermos qualquer lâmpada. Curiosamente, o nosso vizinho poderia dizer o mesmo da nossa janela. Por que isso acontece?

Ao olharmos para uma janela aberta em um dia claro, ela nos parecerá escura, porque a luz do Sol desaparece na cavidade em que o quarto se constitui; a cavidade está delimitada por um orifício de acesso da radiação, que é a janela. Essa cavidade é uma boa representação do conceito físico de um corpo negro.

Dizemos que um corpo negro é aquele que não reflete nenhuma radiação que incide sobre ele. Isso porque qualquer feixe de luz incidente sobre o pequeno orifício é refletido, para todos os lados, nas paredes interiores da cavidade, até a luz ser absorvida por essas paredes ou pelo gás existente no interior da cavidade.

Desse modo, as chances de a luz incidente conseguir abandonar a cavidade é mínima. Isso não significa que o orifício não possa emitir a sua própria radiação, a qual pode ser medida ao sair do orifício. A luz que entra na cavidade é absorvida pelas suas paredes e se alguma radiação (diferente da radiação incidente) vier a sair dessa cavidade, não o será por reflexão; mas, sim, por emissão dessas mesmas paredes, e ela será uma função da temperatura das mesmas.

Entretanto, na ausência de qualquer tipo de radiação proveniente da cavidade, ela então parecerá realmente negra porque nenhuma parte da luz que incide sobre a mesma é redirecionada ou espalhada em direção aos nossos olhos.

Na verdade, um corpo negro não precisa ser de cor preta. Por exemplo, ao olharmos a janela do edifício distante, ela nos parece escura, mesmo se suas paredes estiverem pintadas de branco; então, a janela é considerada por nós um corpo negro.

Contudo, se pessoas no interior do quarto em questão ligarem uma lâmpada, ele não mais nos parecerá escuro (mesmo à noite). A janela, porém, permanece, em uma primeira aproximação, sendo uma boa representação de um corpo negro, pois a luz externa continuará desaparecendo ao atravessar a mesma.

A luz incidente ainda será toda absorvida nas paredes da cavidade (as paredes do quarto, cuja entrada é a referida janela).

2.2 - Tentando explicar

Em 1879, para estudar sobre essa questão, o físico esloveno Joseph Stefan ao tratar sobre a energia radiada por corpos aquecidos, propõe que “o poder emissor de um corpo negro (energia emitida pelo corpo negro na forma de luz e calor em cada segundo) era proporcional à temperatura absoluta elevada à quarta potência” (*apud* SERWAY e JEWETT, 2007, p. 307).

Em 1884, apenas cinco anos mais tarde, Ludwig Boltzmann apresentou uma explicação teórica, partindo da termodinâmica clássica, de modo que a partir daí esse resultado se tornou conhecido como a Lei de Stefan-Boltzmann.

Anos mais tarde, o físico alemão Wilhelm Wien observou que, ao aumentar a temperatura do corpo negro, o comprimento de onda correspondente ao brilho máximo da luz emitido pelo mesmo torna-se mais curto, deslocando-se para a região do violeta no espectro.

Esta lei, conhecida como Lei do Deslocamento de Wien, evidencia que quanto maior for a temperatura menor será o comprimento de onda na qual a radiação é mais intensa. No dia a dia isso é verificado quando se aquece uma barra de ferro: inicialmente ela não emite luz visível, mas invisível (infravermelho); depois de certo tempo começa a brilhar em um vermelho-escuro e, à medida que a temperatura aumenta a sua cor se desloca para comprimentos de ondas menores e ela brilha com a cor amarela alaranjada. A lei de Wien também pode ser aplicada na determinação da temperatura superficial das estrelas. Estrelas vermelhas (de maior comprimento de onda) possuem temperaturas mais baixas que as estrelas azuis (de menor comprimento de onda).

No entanto, restavam dúvidas se as propriedades de emissão e absorção dependiam, em termos quantitativos, de outros fatores tais como o material de que é feito o corpo, a forma e a rugosidade do corpo, etc. O problema teórico era encontrar uma função matemática que descrevesse a curva experimental para tornar possível fazer previsões e estimar as temperaturas dessas cavidades. Embora as previsões teóricas concordassem bem com os dados experimentais em um regime de baixa frequência, para as regiões do espectro eletromagnético de grandes frequências (ultravioleta), a teoria divergia do resultado experimental. Como a teoria representava bem a parte do espectro de baixa frequência, mas falhava ao descrever regiões de alta frequência, a discordância entre a teoria e o experimento ficou conhecida como “catástrofe do ultravioleta”.

Ao comparar os resultados, Planck verificou que para baixas frequências a energia das ondas coincidia com a previsão clássica, mas para altas frequências essa energia deveria diminuir, ou seja, de alguma maneira essa energia deveria depender da frequência das ondas e não apenas da temperatura.

Na época os modelos teóricos consideravam que a radiação térmica emitida por um corpo decorria da vibração de osciladores moleculares e que a intensidade da radiação dependia do número desses osciladores. Esses osciladores moleculares seriam análogos a osciladores mecânicos sendo suas energias determinadas pelas grandezas físicas relevantes do sistema.

Para desenvolver a teoria das radiações térmicas admitia-se que os átomos nas paredes da cavidade (equivalente ao corpo negro ideal), oscilam em movimento harmônico simples, em torno de uma posição de equilíbrio. Segundo a teoria eletromagnética, as cargas elétricas desses átomos

deveriam emitir radiação eletromagnética devido à aceleração, como se fossem antenas transmissoras. Como a aceleração é contínua, a energia emitida também deveria ser contínua.

No entanto, segundo Planck, o argumento apresentado acima (emissão contínua de energia) “[...] deverá ser então abandonado e substituído de forma apropriada”. Planck deu um grande salto intuitivo, abandonando o conceito de emissão contínua de energia e propondo sua substituição. Na proposta de Planck, a energia do oscilador é linearmente proporcional à sua frequência e pode assumir somente certos valores discretos dados por: $E = n \cdot h \cdot f$, onde n assume apenas valores inteiros ($n = 1, 2, 3 \dots$), h é uma constante de proporcionalidade (mais tarde ficou conhecida como constante de Planck) e f é a frequência do oscilador. Hoje n é chamado de número quântico e diz-se que a energia é quantizada.

Os osciladores emitem ou absorvem energia realizando transições de um estado quântico para outro, ou seja, absorve ou emite uma quantidade mínima de energia, que se denomina de *quantum* de energia.

Aplicando as ideias de osciladores quânticos, Planck conseguiu obter uma função que concordava extraordinariamente bem com os dados experimentais para as curvas de emissão de radiação e que contém, como casos particulares, todos os resultados obtidos anteriormente por outros pesquisadores como as leis de Wien e Stefan.

Referências bibliográficas:

PEREIRA, S. J.; ZARA, R. A. Salto Quântico e a Constante de Planck. *In: Elaboração da Produção Didática-Pedagógica*, Paraná: Unioeste, s/data. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1971-6.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2015.

BUENO, L.; PALMIERI, M.; LEOPOLDO, W. M. Fisistoria, Unidade VI – Física Moderna e Contemporânea. 1. ed. São Paulo, junho de 2015. Disponível em: http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/324048/mod_resource/content/1/Material%20Did%C3%A1tico%20-%20Leonardo%2C%20Mayara%20e%20Walter.pdf. Acesso em: 8 dez. 2015.

LEITURA REFLEXIVA: TEXTO 2

	CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO INTEGRAL PEDRO XAVIER TEXEIRA			
	ANO LETIVO: 2018			
	Série: 3ª E. M.	Turma(s): [A][B][C]	Disciplina: FÍSICA	
	Professor (a): Daniel Sampaio Nunes			
Aluno (a):		Nº:	Data:	

AS MOLÉCULAS DA VIDA E AS RADIAÇÕES

(Fonte: Coleção Quanta Física. Volume 3, p. 85-86⁹)

A vida que conhecemos não se sustenta sem a radiação solar, pois é a fotossíntese, realizada pelas plantas e algas com a absorção da luz do Sol, que dá início a toda cadeia alimentar envolvendo o conjunto das muitas espécies vivas. Cada ecossistema, cada conjunto de espécies interligadas que vivem em cada região depende do clima e da geomorfologia locais, diretamente associados ao regime de radiação. Em latitudes polares, por exemplo, há, em média, bem menos horas diárias de luz solar direta do que em zonas equatoriais, o que condiciona o tipo de plantas e animais que podem viver nessas regiões; seres vivos que habitam locais de grandes altitudes e de atmosfera mais rarefeita, como os Alpes ou os Andes, recebem maior intensidade de radiação cósmica e de alta frequência do que os que vivem no fundo dos oceanos ou dos vales, o que também interfere em seu desenvolvimento.



Tundra, um tipo de vegetação adaptada à radiação solar específica das regiões polares



A profundidade alcançada pela radiação solar no interior da água é uma das variáveis que influem na cadeia alimentar aquática de uma região.



Regiões em grandes altitudes estão em contato com o ar mais frio e rarefeito e são atingidas por radiações cósmicas de alta frequência, possibilitando a vida apenas a organismos especificamente adaptados a essas condições.



A intensidade de radiação solar que incide entre o equador e os trópicos da Terra possibilitou o desenvolvimento de exuberantes florestas, os ecossistemas terrestres que abrigam a maior biodiversidade no planeta.

⁹ KANTOR, Carlos *et al.* Coleção Quanta Física, vol. 3. 1. ed. São Paulo, SP: Editora PD, 2010, p. 85-86.

Pesquisas sobre o surgimento da vida na Terra indicam que a radiação solar foi essencial para a síntese das primeiras moléculas orgânicas. As principais teorias sobre a origem da vida no Universo se baseiam na hipótese da pré-formação de compostos orgânicos. Para testá-la, foram realizadas experiências em laboratório mostrando que certas moléculas orgânicas podem ser produzidas, a partir de substâncias elementares, em uma solução aquosa submetida a descargas elétricas ou intensa radiação ultravioleta, simulando as condições ambientais da Terra em um período no qual nossa atmosfera ainda não tinha sua atual composição.

UTILIDADE E PERIGO DAS RADIAÇÕES

(Fonte: Coleção Quanta Física. Volume 3, p. 87¹⁰)

Todos os seres vivos estão expostos a diversas radiações naturais, em diferentes doses: infravermelho; luz visível, do vermelho ao violeta; e radiações de maior frequência, do ultravioleta à radiação cósmica. Sobretudo estas últimas permanecem responsáveis por contínuas alterações na estrutura química dos seres vivos, muitas vezes resultando em mutações do DNA. Hoje, além das radiações naturais, há também aquelas produzidas de forma artificial, que são utilizadas propositadamente em exames radiológicos, por exemplo, ou por acidente, às vezes nos causando danos. Como tudo o mais na natureza e na tecnologia, as radiações podem ser essenciais para certos processos de grande utilidade e, ao mesmo tempo, constituir ameaça ou risco.

Sem uma compreensão quanto à relação essencial entre as radiações e a vida não é possível avaliar a importância ou o perigo da exposição de seres vivos a determinadas formas de radiação. Há mais de um século, foram descobertos os **raios-X**, com sua capacidade de penetração nos tecidos orgânicos, e a radioatividade natural de certas substâncias, como o rádio. Não havia ainda conhecimento de como essas radiações interagem com a matéria em geral, muito menos com a matéria viva.

Além do uso dos **raios-X** em diagnósticos de fraturas e tumores, houve, logo após a época da descoberta da radioatividade, uma indiscriminada propaganda de poderes “magicamente” curativos de toda forma de radiação.

Só meio século depois, com o desenvolvimento da biologia molecular, que desvendou os mecanismos de organização e reprodução da vida, codificados em longas moléculas, como o DNA, é que foi possível perceber como as radiações que têm energia capaz de quebrar ligações químicas alteram genes e produzem mutações. Essas mutações promoveram a biodiversidade necessária para a evolução das espécies, mas também são responsáveis por vários tipos de malformações celulares, principalmente aquelas conhecidas como câncer. Assim, a radiação que diagnóstica e que cura não é nada diferente da que prejudica e mata.



Imagem: iStockphoto/Diomedea

Cada espécie viva tem características próprias que a distinguem de todas as demais, resultantes de mutações genéticas causadas pelas radiações que provêm do Sol e de outras partes do cosmo.

¹⁰ KANTOR, Carlos *et al.* Coleção Quanta Física, vol. 3. 1. ed, São Paulo, SP: Editora PD, 2010, p. 87.

GOIÂNIA, RUA 57

(Fonte: Coleção Quanta Física. Volume 3, p. 88¹¹)

Produzido pela fusão artificial de urânio ou plutônio, o Césio (${}_{55}\text{Cs}^{137}$) e um isótopo radiativo com meia-vida de 30 anos que, ao decair emite radiações **beta** e forma o bário 137 (${}_{56}\text{Ba}^{137}$), que, por sua vez, emite raios **gama**. Essas radiações são úteis no tratamento contra o câncer, em que se utilizam aparelhos radiológicos contendo pastilhas encapsuladas de Césio como fonte de radiação. Manipulado, no entanto, de forma irresponsável, o Césio, e qualquer outro material radioativo, pode causar muitos estragos. Foi o que aconteceu em Goiânia (GO), em setembro de 1987, quando dois sucateiros inocentemente violaram uma pequena cápsula contendo esse elemento radioativo, de cerca de 2 cm de comprimento e 0,2 cm de diâmetro. A cápsula foi encontrada dentro de uma bomba de Césio abandonada pelo Instituto Goiano de Radiologia, em um terreno baldio da Rua 57, do Bairro Popular de Goiânia.

O relato do escritor Fernando Gabeira expressa de forma rica e comovente o drama da população de uma cidade que, por não ter usinas ou centros de pesquisas nucleares, parecia escapar de qualquer risco de acidente nuclear:

Tudo o que se conhece é que Roberto e Wagner [os dois catadores de papel] retiraram a enorme peça num carrinho de mão e venderam o cabeçote de chumbo num ferro-velho. [...] O dono do ferro-velho e os próprios catadores ficaram curiosos.

Quando aos golpes de marreta chegaram à brilhante pedra azul, ficaram maravilhados. [...] Um dos catadores tentou traçar uma cruz no peito e o dono do ferro-velho quis reparti-la entre os amigos, gratuitamente, para que fizessem anéis. Um deles levou um pedaço para casa. [...] A pedra brilhava tanto que incomodava o sono da mulher com quem vivia. [...] O mais trágico dos movimentos aconteceu na casa do outro dono do ferro-velho, Ivo. Sua filha Leide, de seis anos, brincou próxima do pó de Césio, tocou nele comendo um pedaço de pão com ovo e se contaminou internamente (Ela morreria um mês depois).

[...] Os primeiros sintomas começaram a aparecer – vômitos, queimaduras na pele, queda de cabelo. [...] Fizeram de tudo o que estava ao seu alcance. Foram ao farmacêutico e compraram pomada, foram ao pronto-socorro e se medicaram como vítimas de queimadura, e um dos catadores de papel, mais atingido, chegou a ser internado no hospital especializado em doenças tropicais.

Foi no auge dessa busca que a pedra começou a ficar sob suspeita e o veterinário Paulo Roberto Monteiro formulou, pela primeira vez, a descoberta do acidente. [...] a partir daí, o mistério se desfez, o mundo desencantou e o pedaço azul do céu se transformou num pedaço azul do inferno.

[...] Cerca de 43 técnicos desembarcaram em Goiânia. [...] Cinco mil pessoas, por dia, no princípio, acorriam ao Estádio Olímpico, onde foi instalada uma equipe incumbida de testar a contaminação.

[...] Desde o momento em que os pacientes foram examinados no Estádio Olímpico até o momento de seu enterro [...], o nuclear revelou a capacidade de militarizar cada passo da medicina, transformando-a numa atividade secreta, protegida por guardas armados que só desapareceriam de perto dos corpos quando sepultados em caixões de chumbo, recobertos por uma camada de concreto.

¹¹ KANTOR, Carlos *et al.* Coleção Quanta Física, vol. 3. 1. ed, São Paulo, SP: Editora PD, 2010, p. 88.

[...] Mas foi chegando o momento em que o verdadeiro “calcanhar de Aquiles” de todo projeto nuclear apareceria para todos, com luminosidade mais intensa que a do próprio Césio. Esse momento se deu quando começou a discussão em torno do lixo atômico [as roupas recolhidas no Estádio Olímpico, por exemplo].

[...] Diante dessa realidade [recusa do Governo Estadual em guardar o lixo atômico em Goiás], o Governo Federal resolveu indicar um lugar definitivo para o lixo atômico: a Serra do Cachimbo, no sul do Pará.

[...] De todas as demonstrações (contrárias à decisão do Governo Federal), a mais popular foi a realizada durando o Círio de Nazaré, a grande festa religiosa do norte do país. Uma centena de manifestantes entrou na procissão com cartazes e máscaras de protesto e foi, progressivamente, ganhando o apoio dos fiéis, estimulados também pelas declarações das autoridades católicas do Pará, contrárias ao depósito de lixo atômico. Os participantes do Círio de Nazaré viveram na realidade a grande cerimônia política do ano, porque manifestantes que protestavam contra a violência dos latifundiários do Pará também estavam presentes. Os dois movimentos se uniram ao longo do caminho, simbolizando dramaticamente as contradições de um Brasil incapaz de realizar ao mesmo tempo uma aspiração do século passado, a reforma agrária, e uma aspiração do século XX, a superação do projeto nuclear. (Fonte: Fernando Gabeira. Goiânia, Rua 57: O nuclear na Terra do Sol, *in*: www.gabeira.com.br)

TERAPIAS E DIAGNÓSTICOS RADIATIVOS

(Fonte: Coleção Quanta Física. Volume 3, p. 89¹²)

Hoje, é tão variada a utilização de radiação em associação com a vida, especialmente nas áreas médicas, que seriam necessários vários livros para descrever as principais técnicas empregadas. Os **raios-X** são uma das formas mais tradicionais de uso da radiação: são usados para impressionar filmes fotográficos que permitem ver através de corpos vivos porque diferentes tecidos orgânicos são mais ou menos radiopacos, ou seja, apresentam distintas transparências a essa radiação. O emprego de equipamentos de computação associados ao de **raios-X** possibilita também a formação de imagens tridimensionais, a chamada tomografia computadorizada.

¹² KANTOR, Carlos, *et al.* Coleção Quanta Física, vol. 3, 1. ed., São Paulo, SP: Editora PD, 2010, p. 89.

QUESTIONAMENTOS PARA APÓS A LEITURA REFLEXÃO



**CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO
INTEGRAL PEDRO XAVIER
TEXEIRA**



ANO LETIVO: 2018

**Série: 3ª
E. M.**

Turma(s):[A][B][C]

Disciplina: FÍSICA

Professor (a): Daniel Sampaio Nunes

Aluno (a):

Nº:

Data:

Questões orientadoras para o texto 1 – A Radiação do Corpo Negro

- Como a relação da temperatura dos fornos das siderúrgicas com a radiação eletromagnética emitida por eles, nos séculos XVIII e XIX, contribuíram para o desenvolvimento da Radiação do Corpo Negro?
- Mas, afinal, o que seria um Corpo Negro para a Física?
- A lei de Stefan-Boltzmann surgiu da junção dos estudos sobre a energia radiada por corpos aquecidos realizados por Joseph Stefan e Ludwig Boltzmann. O que essa lei sugeria?
- O que foi a “Catástrofe do Ultravioleta”?
- Qual a solução proposta por Max Planck para a “Catástrofe do Ultravioleta”?

Questões orientadoras para o texto 2 – As moléculas da vida e as radiações

- Explique como a radiação solar pode interferir no surgimento da vida na Terra e como ela influencia na cadeia alimentar das espécies terrestres.
- Como é possível que a mesma radiação que pode diagnosticar e curar doenças também pode prejudicar a saúde e até levar à morte de uma pessoa?
- Por que Goiânia, mesmo não possuindo usinas ou centros de pesquisas nucleares, foi protagonista de uns dos maiores acidentes nucleares do mundo?

❖ AULAS 5 E 6:

ATIVIDADE 1: EXPERIMENTO¹³ DE ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

	CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO INTEGRAL PEDRO XAVIER TEXEIRA		 
	ANO LETIVO: 2018		
	Série: 3ª E.M.	Turma(s): [A][B][C]	Disciplina: FÍSICA
	Professor (a): Daniel Sampaio Nunes		
Aluno (a):	Nº:	Data:	

Materiais:

- Duas latas de alumínio (refrigerante)
- Tinta branca e tinta preta (spray)
- Dois termômetros digitais
- Uma lâmpada incandescente de 60 W
- Um soquete
- Um metro e meio de fio fino paralelo
- Um conector, para conectar o fio à tomada

Procedimentos de montagem:

Primeiro pintar as latas de alumínio, uma de branco e a outra de preto, como representado na Figura 123, a seguir:

¹³ Ressalta-se que o material empregado nesse experimento (as latas de alumínio) não corresponde exatamente a um corpo negro, servindo apenas para representar como ocorre a radiação do corpo negro.

Figura 123: Latas de alumínio pintadas de branco e preto, para demonstrar absorção e reflexão dos Raios Infravermelhos.



Fonte: Do próprio autor (2019)

Colocar um termômetro digital, dentro de cada lata de alumínio, como demonstrado na Figura 124:

Figura 124: Lata com Termômetro



Fonte: Do próprio autor (2019)

Usando o auxílio de uma furadeira, fazer um furo em uma base de madeira como mostra a Figura 125, de modo a permitir a passagem do fio elétrico. Logo após instale-o no soquete e fixe na base de madeira, parafusando o soquete conforme Figura 126. Acople a lâmpada no soquete, deixando-a equidistante das lâmpadas por mais ou menos 10cm.

Figura 125: Artefato experimental – perfuração na base de madeira



Fonte: Do próprio autor (2019)

Figura 126: Artefato experimental – instalação da lâmpada



Fonte: Do próprio autor (2019)

Certificar primeiro se os termômetros estão na mesma temperatura. Caso positivo, acender a lâmpada incandescente durante 5 minutos. Comprovar se os termômetros atingiram temperatura final máxima e calcular o comprimento máximo possível de onda, com as latas em suas temperaturas máximas.

ATIVIDADE 2: QUESTIONÁRIO SOBRE O EXPERIMENTO DE ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO



**CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO
INTEGRAL PEDRO XAVIER
TEXEIRA**



ANO LETIVO: 2018

**Série: 3^a
E. M.**

Turma(s):[A][B][C]

Disciplina: FÍSICA

Professor (a): Daniel Sampaio Nunes

Aluno (a):

Nº:

Data:

- 1) Analisando os dados coletados no experimento, informe qual das duas latas apresenta maior variação de temperatura, a lata branca ou a preta?
- 2) A radiação infravermelha apresenta um comprimento de onda na faixa de 700 nm até 50000 nm, utilizando a equação da lei de Wien para deslocamento. Calcule qual é o máximo comprimento de onda irradiado nas paredes internas das duas latas, verificando se a faixa de comprimento de onda se encontra dentro da radiação infravermelha.
- 3) Tomando como base a lei de radiância de Stefan Boltzman, calcule a quantidade de radiação das paredes internas de cada lata.

ATIVIDADE 3: UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA *EXCEL* PARA EXPRESSAR GRAFICAMENTE A LEI DE PLANCK



CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO INTEGRAL PEDRO XAVIER TEXEIRA



ANO LETIVO: 2018

Série: 3ª E. M.

Turma(s):[A][B][C]

Disciplina: FÍSICA

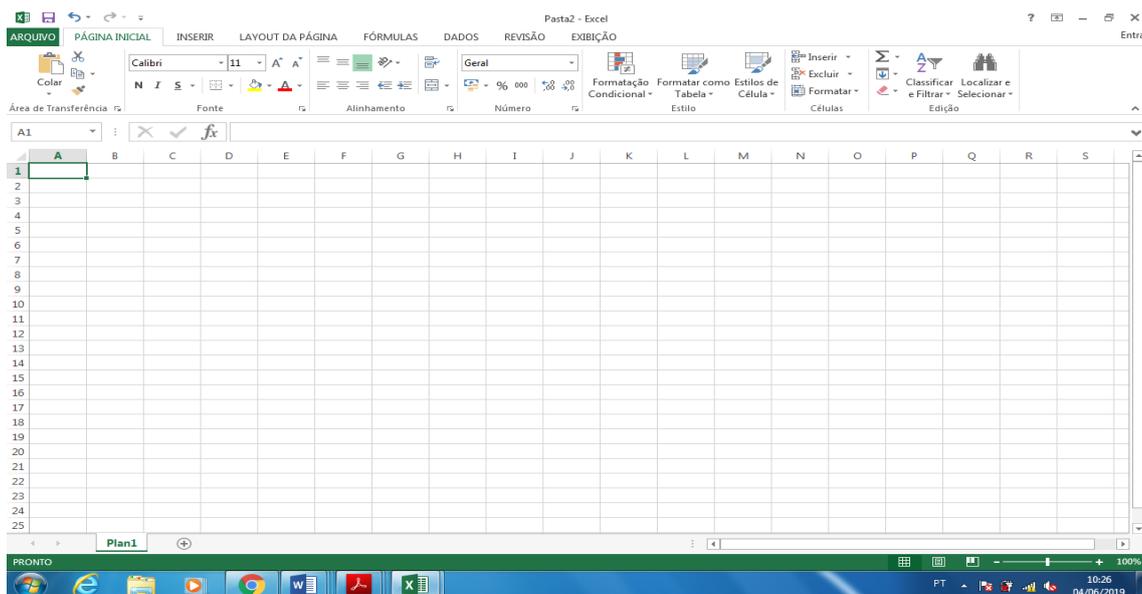
Professor (a): Daniel Sampaio Nunes

Aluno (a):

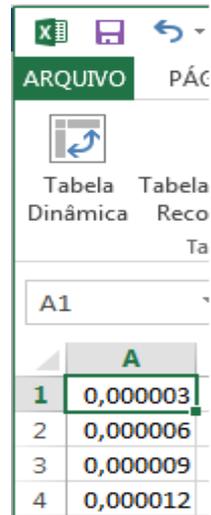
Nº:

Data:

O gráfico para comprovar a lei de Planck será construído com a utilização das planilhas de *Excel*. Ao abrir a página inicial, será apresentada a seguinte imagem:

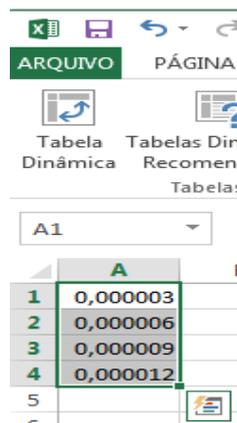


Selecione a célula A1 para inserir os valores referente aos comprimentos de onda dispostos entre a faixa do ultravioleta e do infravermelho, como sugestão.



	A
1	0,000003
2	0,000006
3	0,000009
4	0,000012

Após inserir de três a quatro valores (A1, A2, A3, A4), selecione as células e arraste até alcançar a célula de número 100, conforme o exemplo abaixo:

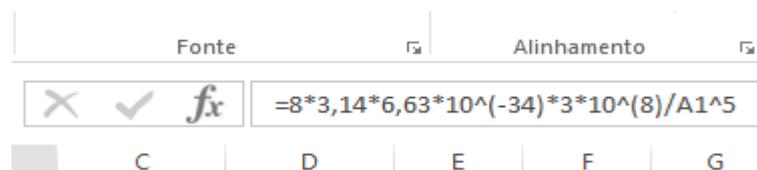


	A
1	0,000003
2	0,000006
3	0,000009
4	0,000012
5	

A coluna B será responsável pela primeira parte da Lei de Planck em função do comprimento de onda para densidade espectral, que será:

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}$$

Sendo assim, deve-se selecionar a célula B1 e, no campo da fórmula, escrever a expressão, conforme a figura:



Em seguida, selecione a célula B1 novamente, para arrastá-la até a célula de B100, como indicado logo a seguir:

	A	B
1	0,000003	20561,19
2	0,000006	642,537
3	0,000009	84,61393
4	0,000012	20,07928
5	0,000015	6,579579
6		

Agora a coluna C ficará responsável pela segunda parte da Lei de Planck em função do comprimento de onda para densidade espectral:

$$U(\lambda, T) = \frac{1}{\frac{hc}{\lambda} e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$

Assim sendo, deve-se selecionar a célula C1 e, no campo da fórmula, escrever a expressão conforme a figura:

Fonte	Alinhamento	Número
=EXP(6,63*(10^(-34))*3*(10^8)/(1,38*(10^(-23))*100*A1))-1		

Vale ressaltar que o número 100 na expressão acima representa a temperatura do corpo em Kelvin, que poderá assumir outros valores de acordo com o desejo de representação.

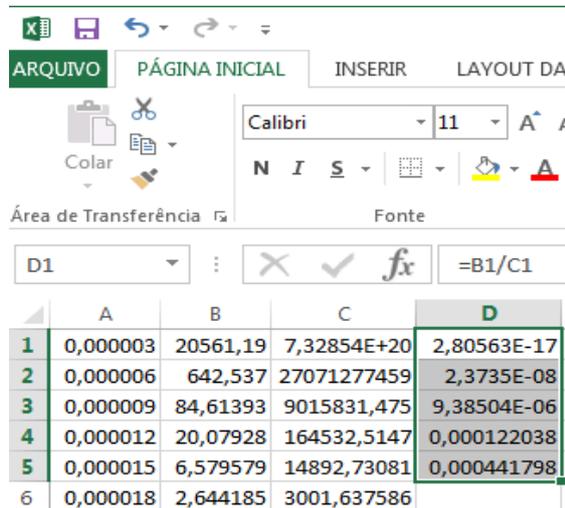
Repetindo o procedimento, agora com a célula C1, selecione-a e arraste até a célula C100, como ilustrado a seguir:

	A	B	C
1	0,000003	20561,19	7,32854E+20
2	0,000006	642,537	27071277459
3	0,000009	84,61393	9015831,475
4	0,000012	20,07928	164532,5147
5	0,000015	6,579579	14892,73081
6	0,000018	2,644185	

Selecione a coluna D para escrever na barra de fórmula a função que fornecerá o resultado da intensidade de radiação para a função de Planck, da seguinte forma:

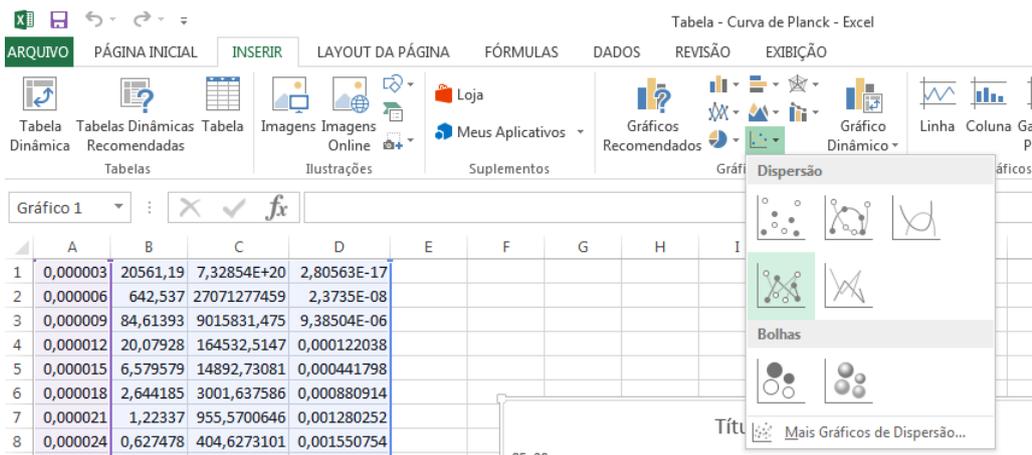


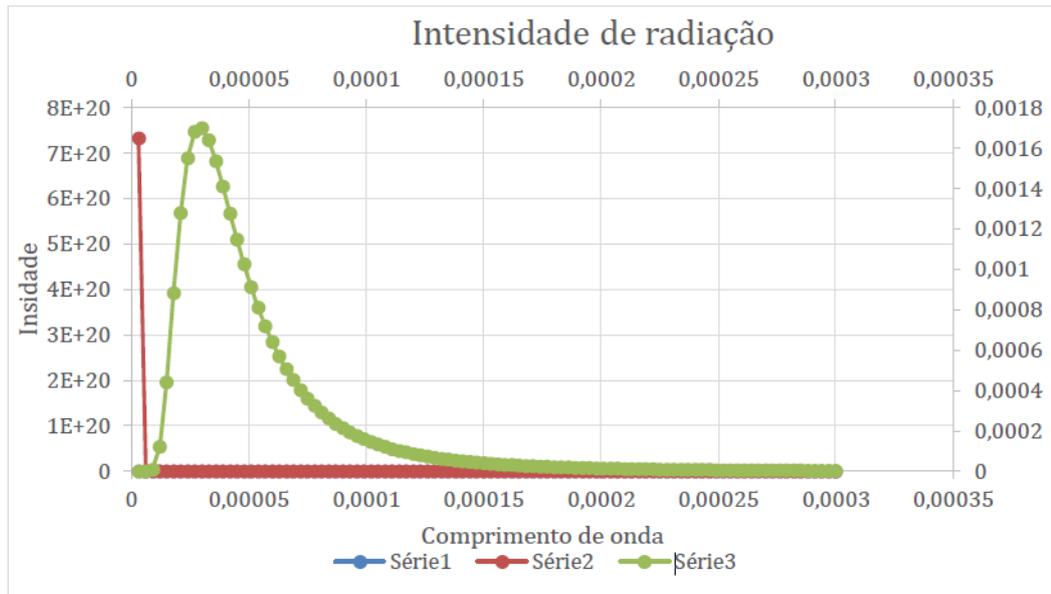
Selecione, então, a célula D1 e arraste até a célula D100, obtendo:



Com as quatro colunas preenchidas, a apresentação do gráfico ocorrerá seguindo as seguintes instruções:

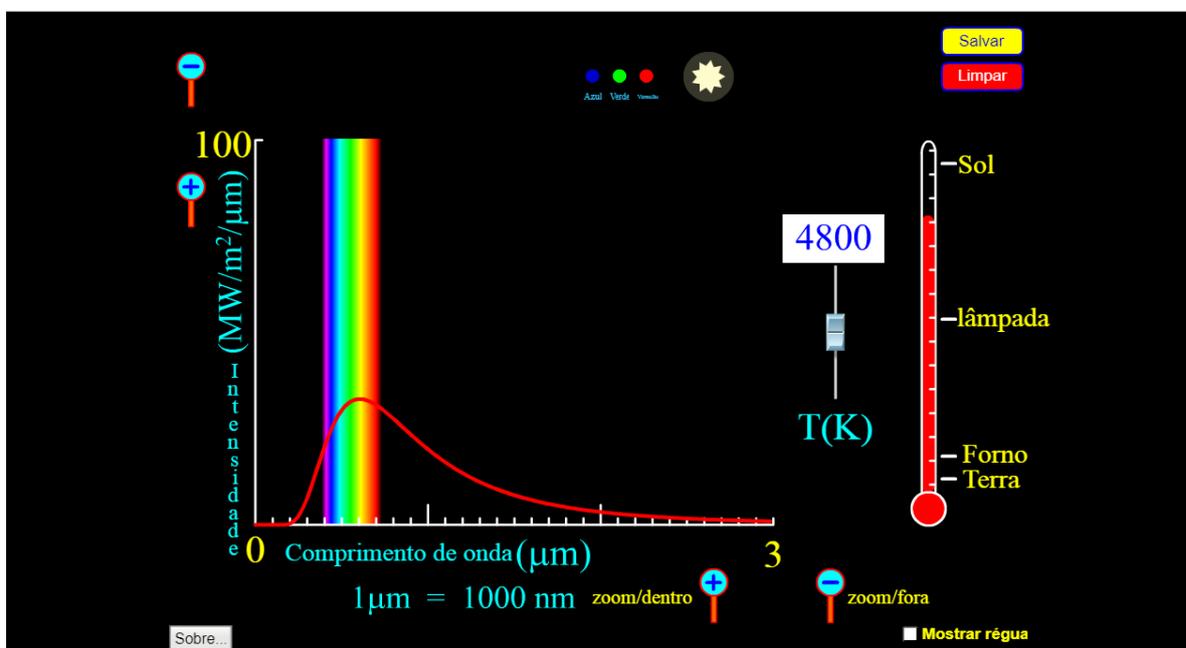
Clique primeiro na opção INSERIR e em seguida na opção GRÁFICOS. Abrirá uma janela na qual será escolhida a opção de gráfico DISPERSÃO, conforme ilustrado abaixo:





❖ AULAS 7 E 8:

Para a realização das aulas 7 e 8, aconselha-se ao professor a realização prévia da atividade no simulador PHET, como preparação para as aulas e aprimoramento das potencialidades do simulador. Torna-se essencial tal preparo para suprir eventuais dificuldades dos alunos em relação à leitura, à interpretação da função utilizada e ao funcionamento do simulador. O apoio por parte do professor no início das atividades será primordial para o êxito dessas.



https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_pt_BR.html

ATIVIDADE 1: INSTRUÇÕES E QUESTIONÁRIO REFERENTE AO EXPERIMENTO DE RADIAÇÃO EMITIDA POR UM CORPO NEGRO; LEI DE WIEN COM A UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR PHET



CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO
INTEGRAL PEDRO XAVIER
TEXEIRA



ANO LETIVO: 2018

Série: 3ª
E. M.

Turma(s):[A][B][C]

Disciplina: FÍSICA

Professor (a): Daniel Sampaio Nunes

Aluno (a):

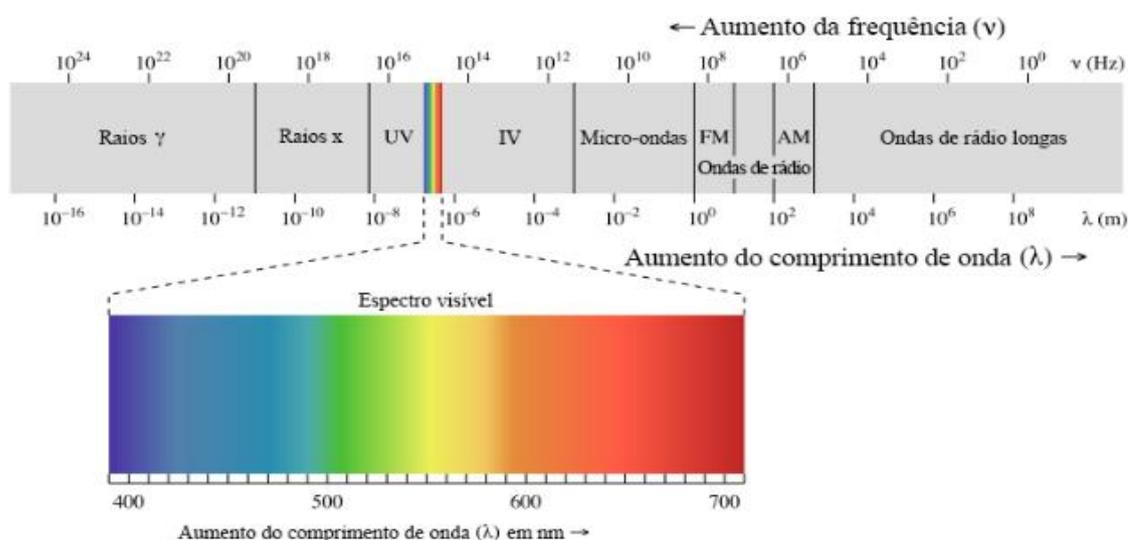
Nº:

Data:

01. Ao se conectar com o simulador PHET e acessar a simulação da radiação do corpo negro, é apresentado na tela um gráfico desse experimento. A partir da observação do gráfico da radiação do corpo negro responda:

- O eixo das abscissas é representado por qual grandeza física?
- E o eixo das ordenadas, é representado por qual grandeza física?

02. Abaixo está representado um espectro eletromagnético, onde se apresentam o comprimento de onda (λ) e a frequência (ν) das ondas eletromagnéticas.



Observando o espectro eletromagnético acima, acesse o simulador PHET. Repare que o simulador apresenta o espectro de emissão de um corpo em uma dada temperatura. Veja que o gráfico criado é uma função, na qual o eixo das abscissas é composto pela faixa de comprimentos de onda irradiado por esse corpo. Ao observarmos a posição da barra vertical em relação à função gerada, percebemos se o corpo emite luz visível para a temperatura determinada no simulador. Para facilitar a visualização do gráfico, utilize sempre que

necessário a ferramenta denominada “zoom”, representada pelas lupas positiva (+) e negativa (-).

Para exemplificar o uso da ferramenta “zoom”, faça os seguintes ajustes:

Temperatura: 3.000 K. **Eixo das ordenadas (vertical):** 3.16. **Eixo das abscissas (horizontal):** 3

Nessa configuração, o que será observado é o espectro de emissão de uma lâmpada incandescente, que é uma boa comparação para um corpo negro.

Questões pós-experimento:

a) Ao observar e analisar essa situação no simulador, pode-se afirmar que a lâmpada incandescente emite luz visível? Explique.

b) Considerando a mesma situação, a lâmpada incandescente emite raios-X? Explique.

c) Ainda analisando o gráfico gerado pelo simulador da lâmpada incandescente, determine qual comprimento de onda tem a maior intensidade. Tendo como referência o espectro eletromagnético acima, classifique esse comprimento de onda.

03. “O Sol é o objeto mais proeminente em nosso sistema solar. É o maior objeto e contém aproximadamente 98% da massa total do sistema solar. Cento e nove Terras seriam necessárias cobrir o disco do Sol, e em seu interior caberiam 1,3 milhões de Terras. A camada externa visível do Sol é chamada fotosfera, e tem uma temperatura de 6.000°C. Essa camada tem uma aparência turbulenta devido às erupções energéticas que lá ocorrem.” (<https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm>)

Tendo como referência o texto acima, podemos afirmar que a temperatura aproximada da superfície do Sol é de 5.727 K. Acerte a temperatura do simulador para a da superfície do Sol e ajuste o zoom da vertical e horizontal do gráfico para responder aos questionamentos abaixo.

a) Ao comparar o comprimento de onda máximo emitido pela lâmpada e pelo Sol, a que conclusão se pode chegar?

b) O que se percebe quando se observam a radiação emitida pelo Sol e o espectro da luz visível?

c) O Sol produz radiação ultravioleta? Justifique.

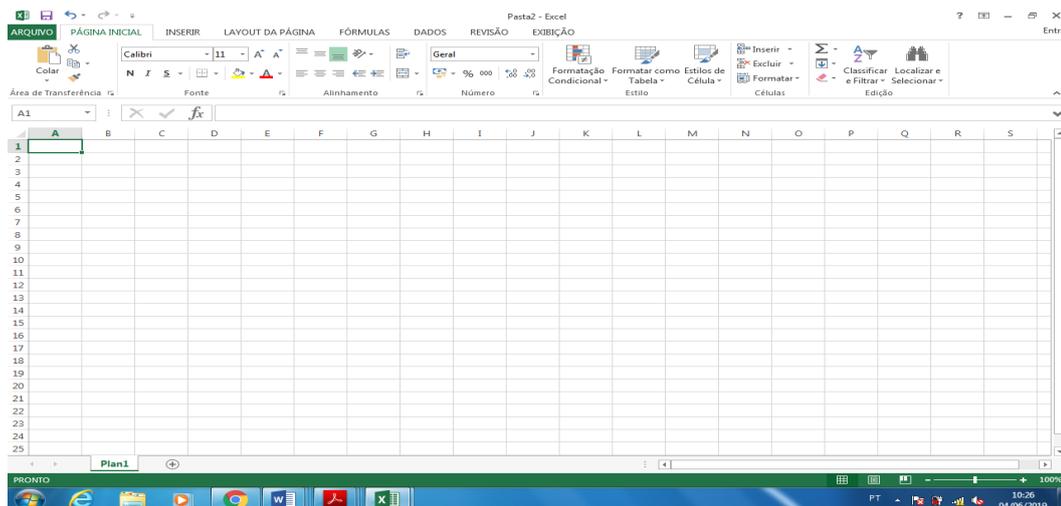
04. Construa uma tabela com três colunas, onde uma coluna expresse a temperatura; outra, o comprimento de onda correspondente ao pico de maior intensidade ($\lambda_{\text{máx}}$); e a outra, o produto de $T \cdot (\lambda_{\text{máx}})$. Use temperaturas de 600K, 1200K, 2500K, 3500K, 4500K e 5500K.

05. Utilizando o programa de criação de planilhas eletrônicas *Excel*, construa o gráfico para representar os dados da tabela construída no item anterior.

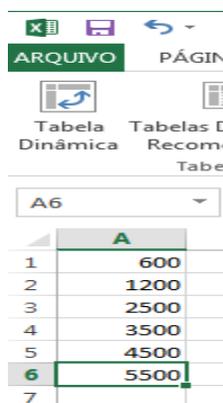
ATIVIDADE 2: USO DO EXCEL PARA A REALIZAÇÃO DA QUESTÃO Nº 5 DO QUESTIONÁRIO

	CENTRO DE ENSINO EM PERÍODO INTEGRAL PEDRO XAVIER TEXEIRA			
	ANO LETIVO: 2018			
	Série: 3ª E. M.	Turma(s): [A][B][C]	Disciplina: FÍSICA	
	Professor (a): Daniel Sampaio Nunes			
	Aluno (a):		Nº:	Data:

Página de apresentação ao acessar o *Excel*.



Selecionar a coluna A, que representará os valores das temperaturas. Preencha as células (A1, A2, A3...) com as respectivas temperaturas.



	A
1	600
2	1200
3	2500
4	3500
5	4500
6	5500
7	

A coluna B será responsável pela equação de Wien, dada por:

$$\lambda_{\text{máx}} T = b$$

Sendo assim, deve-se selecionar a célula B1 e, no campo da fórmula, escrever a expressão conforme a figura.



Selecione a célula B1 e arraste até a célula B6, conforme a figura:

The screenshot shows the Excel ribbon with the "Tabelas" tab selected. Below the ribbon, a table is visible with columns A and B. The data in column B is highlighted, indicating a selection from B1 to B6.

	A	B
1	600	4,83E-06
2	1200	2,42E-06
3	2500	1,16E-06
4	3500	8,29E-07
5	4500	6,44E-07
6	5500	5,27E-07
7		

A coluna C ficará responsável pelo produto: $T(\lambda_{\text{máx}})$.

Selecione a célula C1 e, no campo da fórmula, escreva a expressão conforme a imagem:



Selecione a célula C1 e arraste até a célula C6, obtendo-se:

The screenshot shows the Excel ribbon with the "Tabelas" tab selected. Below the ribbon, a table is visible with columns A, B, and C. The data in column C is highlighted, indicating a selection from C1 to C6.

	A	B	C
1	600	4,83E-06	2,90E-03
2	1200	2,42E-06	2,90E-03
3	2500	1,16E-06	2,90E-03
4	3500	8,29E-07	2,90E-03
5	4500	6,44E-07	2,90E-03
6	5500	5,27E-07	2,90E-03
7			

Com as três colunas preenchidas, a apresentação do gráfico ocorrerá após atender às seguintes instruções:

Selecione as colunas A e B, clique na opção INSERIR e depois na opção GRÁFICOS. Abrirá, então, uma janela na qual se deve escolher a opção de gráfico DISPERSÃO, conforme ilustração:

