

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

PPGF
ensino de física

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Sílvio Luiz Rutz da Silva
(organizadores)

**WANDERLEY MARCÍLIO VERONEZ
GELSON BISCAIA DE SOUZA
LUIZ AMÉRICO ALVES PEREIRA**



VOLUME 1

**Automatização de Experimentos de Física
Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms**

**SÉRIE
Produtos Educacionais em Ensino de Física**

UEPG - PROEX

SÉRIE

Produtos Educacionais em Ensino de Física

Volume 1

WANDERLEY MARCÍLIO VERONEZ

GELSON BISCAIA DE SOUZA

LUIZ AMÉRICO ALVES PEREIRA

Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms

Jeremias Borges da Silva
André Maurício Brinatti
André Vitor Chaves de Andrade
Silvio Luiz Rutz Da Silva
(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX
1a. Edição
Ponta Grossa – PR
2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

Prof. Dr. Carlos Luciano Sant'Ana Vargas
REITOR

Profa. Dra. Gisele Alves de Sá Quimelli
VICE-REITOR

Profa. Dra. Marilisa Do Rocio Oliveira
PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E ASSUNTOS CULTURAIS

Profa. Dra. Osnara Maria Mongruel Gomes
PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓSGRADUAÇÃO

PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MNPEF - POLO 35 – UEPG
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Colegiado

Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (Coordenador)

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (*Vice-Coordenador*)

Prof. Dr. André Maurício Brinatti

Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes

Prof. Dr. Paulo César Facin

Aluno (*Rep. Discente*)

Suplentes

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Prof. Dr. Júlio Flemming Neto

SÉRIE:

PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

CONSELHO EDITORIAL DA SÉRIE

Prof. Dr. Alexandre Camilo Junior (UEPG)

Prof. Dr. André Maurício Brinatti (UEPG)

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (UEPG)

Prof. Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro (UEPG)

Prof. Dr. Gelson Biscaia de Souza (UEPG)

Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Júlio Flemming Neto (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Américo Alves Pereira (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes (UEPG)

Prof. Dr. Marcelo Emilio (UEPG)

Prof. Dr. Paulo Cesar Facin (UEPG)

Prof. Dr. Fabio Augusto Meira Cássaro (UEPG)

Prof. Dr. Luiz Fernando Pires (UEPG)

Prof. Dr. Sérgio da Costa Saab (UEPG)

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Gerson Kniphoff da Cruz (UEPG)

Profa. Dra. Josie Agatha Parrilha da Silva (UEPG)

Prof. Dr. Adriano Reinaldo Viçoto Benvenho
(UFABC)

Prof. Dr. Awdry Feisser Miquelin (UTFPR)

Prof. Dr. Carlos Alberto de Oliveira Magalhães Jr
(UEM)

Profa. Dra. Cleci Werner da Rosa (UPF)

Prof. Dr. José Ricardo Galvão (UTFPR)

Prof. Dr. Hércules Alves de Oliveira Jr. (UTFPR)

Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo (UFMT)

Prof. Dr. João Amadeus Pereira Alves (UTFPR)

Prof. Dr. Marco Antonio Moreira (UFRGS)

Prof. Dr. Marcos Antonio Florczak (UTFPR)

Profa. Dra. Sandra Mara Domiciano (UTFPR)

Profa. Dra. Sani de Carvalho Rutz da Silva (UTFPR)

SÉRIE

Produtos Educacionais em Ensino de Física

Volume 1

WANDERLEY MARCÍLIO VERONEZ

GELSON BISCAIA DE SOUZA

LUIZ AMÉRICO ALVES PEREIRA

Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms

Jeremias Borges da Silva

André Maurício Brinatti

André Vitor Chaves de Andrade

Silvio Luiz Rutz Da Silva

(ORGANIZADORES)

UEPG – PROEX

1a. Edição

Ponta Grossa – PR

2018

Veronez, Wanderley Marcílio
V549a Automatização de experimentos de física moderna com
 kit Lego NXT Mindstorms [livro eletrônico]/ Wanderley
 Marcílio Veronez, Gelson Biscaia de Souza, Luiz
 Américo Alves Pereira. Ponta Grossa: UEPG/PROEX,
 2018. (Série Produtos Educacionais em Física, v. 1).
 43 p.; il.; e-book

ISBN: 978-85-63023-21-6

1. Ensino-aprendizagem. 2. Física moderna. 3. Robótica.
I. Souza, Gelson Biscaia de. II. Pereira, Luiz Américo Alves
III. T.

CDD: 539

Ficha Catalográfica Elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos - CRB 9/986

Foto da Capa: Joel Johnson

Disponível em:

https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--wfT5yXLH--/c_scale,fl_progressive,q_80,w_800/17m6d9ibk4ubvjpg.jpg



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons – Atribuição - Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

PREFÁCIO

Durante as últimas décadas, no Brasil se tem conseguido avanços significativos em relação a alfabetização científica, em especial na área do Ensino de Física, nos diversos níveis de ensino, entretanto continua pendente o desafio de melhorar a qualidade da Educação em Ciências. Buscando superar tal desafio a Sociedade Brasileira de Física (SBF) implementou o Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que se constitui em um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na Área de Física, resultando em uma ação que engloba diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País.

O objetivo do MNPEF é capacitar em nível de mestrado uma fração muito grande de professores da Educação Básica quanto ao domínio de conteúdos de Física e de técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula como, por exemplo, estratégias que utilizam recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos.

A abrangência do MNPEF é nacional e universal, ou seja, está presente em todas as regiões do País, sejam elas localizadas em capitais ou estejam afastadas dos grandes centros. Fica então clara a necessidade da colaboração de recursos humanos com formação adequada localizados em diferentes IES. Para tanto, o MNPEF está organizado em Polos Regionais, hospedados por alguma IES, onde ocorrerem as orientações das dissertações e são ministradas as disciplinas do currículo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa, por meio de um grupo de professores do Departamento de Física, faz parte do MNPEF desde o ano de 2014 tendo nesse período proporcionado a oportunidade de aperfeiçoamento para quarenta e cinco professores de Física da Educação Básica, sendo que desses quinze já concluíram o programa tornando-se Mestres em Ensino de Física.

A **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física**, que ora apresentamos, consta de vários volumes que correspondem aos produtos

educacionais derivados dos projetos de dissertação de mestrado defendidos. Alguns desses volumes são constituídos de mais de um tomo.

Com essa série o MNPEF - Polo 35 - UEPG, não somente busca entregar materiais instrucionais para o Ensino de Física para professores e estudantes, mas também pretende disponibilizar informação que contribua para a identificação de fatores associados ao Ensino de Física a partir da proposição, execução, reflexão e análise de temas e de metodologias que possibilitem a compreensão do processo de ensino e aprendizagem, pelas vias do ensino e da pesquisa, resultado da formação de docentes-pesquisadores.

A série é resultado de atividade reflexiva, crítica e inovadora aplicada diretamente à atuação profissional do docente, na produção de conhecimento diretamente associado à prospecção de problemas e soluções para o ensino-aprendizagem dos conhecimentos em Física, apresentando estudos e pesquisas que se propõem com suporte teórico para que os profissionais da educação tenham condições de inovar sua prática em termos de compreensão e aplicação da ciência.

A intenção é que a **Série Produtos Educacionais em Ensino de Física** ofereça referências de propostas de Ensino de Física coerentes com as estruturas de pensamento exigidas pela ciência e pela tecnologia, pelo exemplo de suas inserções na realidade educacional, ao mesmo tempo que mostrem como se pode dar tratamento adequado à interdependência de conteúdos para a formação de visão das interconexões dos conteúdos da Física.

Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva

Prof. Dr. André Maurício Brinatti

Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva

Organizadores

SUMÁRIO

Capítulo 1: Introdução	008
Capítulo 2: Radiação Térmica	009
1.1 Radiação Térmica	009
1.2. Corpo Negro.....	012
Capítulo 2: Construção dos Cubos de Leslie.....	017
Capítulo 3: Programação do Experimento.....	023
3.1 Acesso ao software Lego NXT 2.0 Data Logging	023
3.2 Resultados do experimento com os Cubos Metálicos	028
3.3 Possíveis Erros Técnicos	032
3.3.1 Erros na transferência de dados para o NXT.....	032
3.3.2 Erro na coleta de dados devido a limitações do sensor de temperatura.....	034
Capitulo 4: aplicação em sala de aula	036
4.1 Radiação de Corpo Negro.....	036
4.2 Materiais utilizados	036
4.3 Aula 01: Montagem do conjunto experimental e programações	037
4.3.1 Questionário inicial	037
4.4 Aula 02: experimentação e análise dos resultados.....	038
4.4.1 Questionário Final	038
Referências bibliográficas	041

Capítulo 1: Introdução

Os estudos de Planck sobre a radiação de corpo negro foram fundamentais para o surgimento da mecânica quântica no início do século XX a partir do estudo da Radiação de Corpo Negro. O Cubo de Leslie é uma aproximação de um corpo negro, pois toda radiação nele incidente, pelas faces internas, é absorvida. Este trabalho apresenta um roteiro para a automatização de experimentos com um Cubo de Leslie tradicional e um Cubo de Leslie modificado.

A partir da realização deste experimento é possível levantar questões acerca da emissividade de corpos pintados de preto e branco, contribuição da radiação visível do espectro eletromagnético no aquecimento do Cubo, equilíbrio térmico e radiação de corpo negro.

Mostra-se, a seguir, as etapas para a elaboração dos cubos de Leslie tradicional e modificado, as etapas de programação, bem como os possíveis erros que o microprocessador e o sensor de temperatura do kit Lego NXT *Mindstorms* (utilizado como instrumento de coleta de dados) pode apresentar na execução do experimento. Ao final deste texto, apresenta-se uma proposta metodológica para que outros professores possam utilizar em sala de aula no Ensino Médio.

Capítulo 2: Radiação Térmica

Neste capítulo, aborda-se os fundamentos dos fenômenos investigados no Produto Didático deste Projeto, que se constitui em um Cubo de Leslie modificado, bem como aqueles que serviram para seu desenvolvimento e caracterização. Os conceitos gerais de radiação eletromagnética e, em especial, de radiação térmica serão discutidos com base na sua interação com superfícies e o subsequente aumento de temperatura e emissão de radiação na faixa do infravermelho. Destaca-se que o conhecimento da emissividade dos materiais foi imprescindível para os testes de qualidade do produto, ainda na fase de sua construção.

1.1 Radiação Térmica

Todo corpo com temperatura diferente de zero absoluto emite radiação. Quanto maior a sua temperatura, maior será essa taxa de emissão, por isso a chamamos de *Radiação Térmica*. O equilíbrio térmico dos corpos está relacionado à taxa de radiação que um corpo absorve e com a taxa de radiação que ele emite. Quando essas taxas são iguais, dizemos que o corpo está em equilíbrio térmico (NUSSENZVEIG, 1998).

Ao contrário de outros processos de transferência de calor como a condução e a convecção, a radiação térmica não necessita de um meio material para sua propagação. A energia transferida depende da diferença entre as temperaturas elevadas à quarta potência (como será discutido adiante). Assim, para temperaturas maiores, essa taxa de transferência de energia é mais elevada (BETZ, 2016).

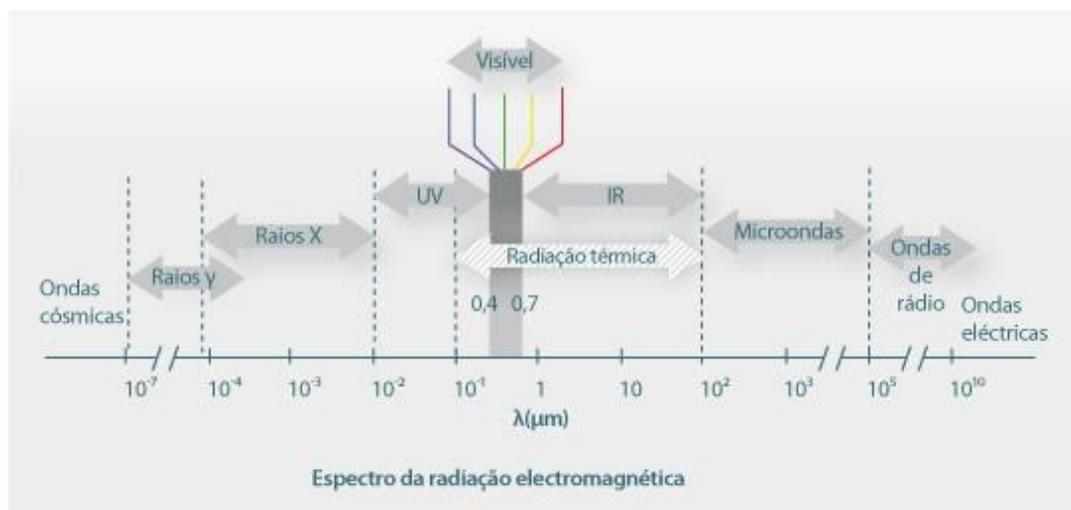
De modo simples, pode-se afirmar que a radiação térmica se origina da aceleração das cargas elétricas no interior dos corpos. Em sólidos, a temperatura está relacionada a vibrações de átomos em suas posições na estrutura cristalina do material. Os fótons emitidos ou absorvidos têm energia igual às diferenças de energia nas transições entre estados permitidos de vibração, previstos pela Mecânica Quântica. Essas transições são do tipo dipolo elétrico, e a *aceleração* dessas cargas se relaciona à emissão de radiação térmica (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

O termo radiação é designado para processos de transferência de energia através de ondas eletromagnéticas e é utilizada como sinônimo para o termo onda eletromagnética. Por exemplo, pode-se afirmar que uma lâmpada incandescente emite radiação eletromagnética e, com a mesma palavra, pode-se afirmar que a transferência de energia ocorre por radiação (LABVIRUTAL, 2016).

O descobrimento da existência de ondas eletromagnéticas é um capítulo muito interessante da história do conhecimento. No trabalho seminal de J. C. Maxwell na segunda metade do século XIX, não apenas se descobriu que a luz é um fenômeno eletromagnético, mas que outras formas de ondas eletromagnéticas deveriam existir. Anos mais tarde, em 1887, estimulado por tais previsões, H. Hertz demonstrou experimentalmente a existência dessas ondas, produzindo ondas de rádio. A utilidade tecnológica desse fenômeno foi prontamente vislumbrada. Até o final do século XIX a transmissão de voz via rádio já havia se desenvolvido consideravelmente. As tecnologias subsequentes, que dispensam apresentações, transformaram o estilo e a qualidade de vida da civilização no século XX (GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, 2016).

Graças aos avanços científicos nas primeiras décadas do século XX, sabe-se que as diferentes “radiações” que podem ser percebidas são manifestações do mesmo fenômeno eletromagnético, diferenciadas pelo comprimento de onda. É usual dividir o espectro eletromagnético (Figura 1) em faixas com comprimentos de onda e frequências definidas a cada tipo de onda eletromagnética. Pode-se situar também a radiação térmica no intervalo que compreende 10^{-1} μm a 10^2 μm para o comprimento de onda (LABVIRUTAL, 2016).

Figura 49. Espectro da radiação eletromagnética



Fonte: Disponível em:

<http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422>

Observa-se que a radiação visível está dentro do intervalo do comprimento de onda da radiação térmica, ou seja, é possível atribuir uma temperatura para essa faixa de espectro. Em 1800, o astrônomo William Herschel mediu a temperatura correspondente a cada cor do espectro, com auxílio de termômetros e um prisma, percebendo que a temperatura aumentava a medida que o termômetro se aproximava do vermelho e até mesmo depois na região escura. Essa região é correspondente à radiação infravermelha (MICHA, 2011).

A radiação térmica tem grande relevância no estudo introdutório da Física Moderna. O espectro da radiação emitida por um sólido aquecido, como é o caso de uma barra de metal incandescente, varia com a sua temperatura. A radiação visível, situada em geral no ápice do espectro contínuo, passa de uma cor avermelhada e vai se tornando mais esbranquiçada à medida que a temperatura se eleva, ou seja, o ponto de máximo migra para comprimentos de onda menores e a frequência para valores maiores com o aumento da temperatura do corpo sólido (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

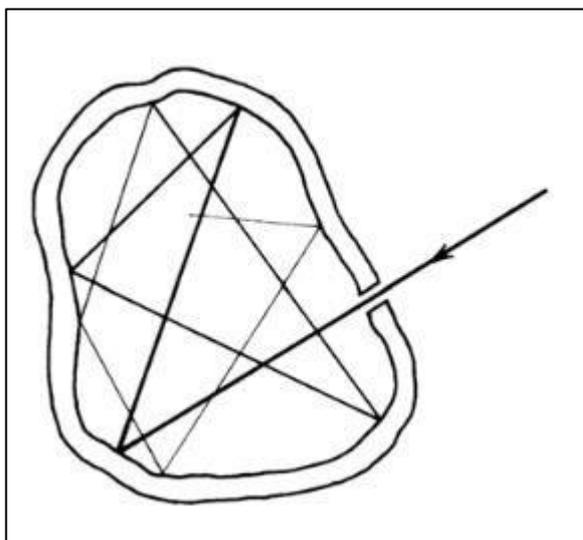
No início do século XX, a incompatibilidade entre os resultados previstos pela Física Clássica e aqueles obtidos experimentalmente em laboratório para corpos aquecidos estimulou a busca de novas teorias, as quais levaram ao conceito primordial de quantização de energia, como será discutido a seguir.

1.2. Corpo Negro

É comum associar um corpo negro a um corpo pintado de cor preta que absorve toda luz incidente sobre ele. Esta definição é uma aproximação, pois o corpo negro é, por definição, um corpo que absorve toda radiação nele incidente, ou seja, toda a faixa do espectro eletromagnético, e que não é capaz de refletir essa radiação (MEDEIROS, 2010). Todavia, é interessante que um exemplo real para tal situação é a fuligem (ou negro de fumo, que é carvão amorfo), encontrada em chaminés (HEWITT, 2002).

Considerando-se um pequeno orifício em uma cavidade (Figura 1.2), a radiação que nele entra dificilmente sairá. Assim é possível considerar uma concavidade com um orifício como sendo um corpo negro, pois toda radiação nele incidente será absorvida. Um *absorvedor* eficiente é também bom *emissor* de radiação, conceito proveniente da Lei de Kirchhoff que diz respeito ao equilíbrio térmico (BAHIANA, 2016). Assim, quando aquecida, a cavidade emite energia radiante em um espectro (ou seja, uma distribuição de intensidades em função da frequência da radiação) típico de um corpo negro.

Figura 50. Modelo de corpo negro.



Fonte: BAHIANA (2016).

Desse modo, no estudo das radiações, considera-se o problema do irradiador ideal por meio do estudo do absorvedor ideal. Em teoria, essa radiação entra pelo orifício e permanece aprisionada, sofrendo infinitas reflexões dentro da cavidade.

No equilíbrio térmico, a emissão de radiação e é igual a absorção a (NOVO, 2014).

$$e=a \quad (1.1)$$

Ou ainda:

$$\frac{e}{a} = 1 \quad (1.2)$$

Considerando-se dois corpos em equilíbrio térmico entre si, sendo um deles um irradiador ideal – corpo negro (1), e outro não ideal (2), tem-se:

$$\frac{e_1}{a_1} = \frac{e_2}{a_2} = 1 \quad (1.3)$$

Tratando-se de um corpo negro (1), sua absorção é maior se comparada ao outro corpo que não é negro (2).

$$a_1 > a_2 \quad (1.4)$$

E também:

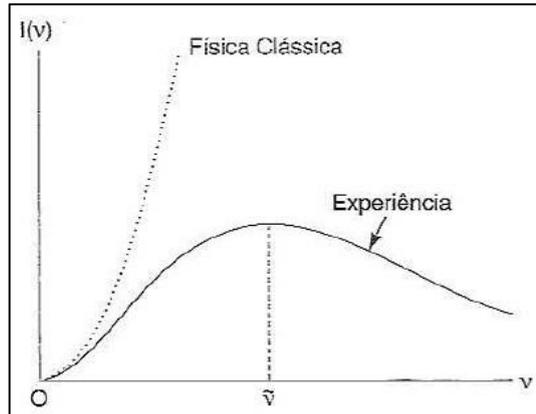
$$e_1 > e_2 \quad (1.5)$$

Ou seja, corpos negros são melhores absorvedores e emissores de radiação. A absorvidade a é igual a 1 ($a = 1$) e sua refletividade r para um corpo negro é nula ($r = 0$), daí sua denominação (BAHIANA, 2016).

Rayleigh e Jeans desenvolveram, em 1877, a teoria da radiação de corpo negro com base nos avanços da Física no século XIX, em especial a teoria atômica, o eletromagnetismo de Maxwell, a estatística de Maxwell-Boltzmann e os experimentos em espectroscopia de Kirchhoff e Bunsen (NUSSENZVEIG, 1998).

A Figura 1.3 representa a distribuição espectral da radiação térmica prevista na teoria Clássica, de Rayleigh-Jeans, e aquela obtida experimentalmente, correlacionando a intensidade (I) em função da frequência (ν).

Figura 51. Distribuição espectral da intensidade de radiação térmica I em função da frequência ν .



Fonte: NUSSENZVEIG, 1998.

O modelo de Rayleigh e Jeans previa que a potência irradiada pelo corpo negro depende do quadrado da frequência da radiação, representado na Figura 1.3 como a curva prevista pela Física Clássica. Assim, embora o resultado concorde bem com frequências baixas, para frequências altas a equação obtida com base na teoria Clássica sugeria que a intensidade de energia emitida seria infinita. Esse efeito é chamado de “Catástrofe Ultravioleta”, pois o ponto de divergência está nessa faixa do espectro eletromagnético (NUSSENZVEIG, 1998).

Com o objetivo de sanar a incompatibilidade entre a teoria Clássica e os resultados experimentais, em 1900 Max Planck apresentou um modelo sobre a emissão de energia por um corpo negro, no qual introduziu a ideia de *quantização de energia*. De acordo com a proposta de Planck, a emissão de radiação não poderia ser considerada contínua, mas como se ocorresse em quantidades definidas de absorção/emissão instantânea, ou pacotes de energia, denominados de *quanta* (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Essa energia emitida em pacotes é diretamente proporcional à frequência da radiação ν :

$$E=h\nu \quad (1.6)$$

Onde $h=6,63 \times 10^{-34} J.s$ é a constante de proporcionalidade encontrada por Planck, e que leva seu nome.

Planck propôs a seguinte equação para a emissão espectral do corpo negro (TIPLER e LLEWELLYN, 2010):

$$I_{\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (1.7)$$

Onde c é a velocidade da luz e k é a constante de Boltzmann. Esta equação,

conhecida como equação de Planck da Emitância Espectral, permite calcular a contribuição no espectro emitido à temperatura T para qualquer comprimento de onda λ . Nota-se que a emitância espectral é maior para corpos mais quentes, para qualquer comprimento de onda.

O valor de máxima emissão ocorre quando a derivada da Equação 2.7 em relação a λ for igual a 0:

$$\frac{dI_{\lambda}}{d\lambda} = 0; \lambda_{max} = \frac{\omega}{T} \quad (1.8)$$

Essa solução já havia sido empiricamente proposta por Wien, em 1893, e $\omega = 2,9.10^3 m.K$ é chamada de constante de Wien (TIPLER e LLEWELLYN, 2010). A equação de Planck se ajusta adequadamente aos resultados experimentais mostrados na Figura 1.3, embora, inicialmente, ele tenha considerado que a quantização era meramente um “artifício inconveniente”. Em 1905, A. Einstein demonstrou que a quantização da radiação visível é o fenômeno que explica o efeito fotoelétrico (MEDEIROS, 2010).

A solução encontrada por Planck tornou-se um marco divisório entre a Física Clássica e a Física Moderna. A constante de Planck está presente nos mais diversos fenômenos microscópicos, desde as equações que descrevem a arquitetura de núcleos, átomos e moléculas, até o incipiente campo da quantização nos fenômenos biológicos.

Para se obter a emissão total de um corpo, soma-se as emitâncias em todos comprimentos de onda, tomando a integral correspondente à área abaixo da curva de distribuição espectral:

$$I = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda \quad (1.9)$$

A solução da equação (1.9) é conhecida como lei de Stefan-Boltzmann, que, quando aplicada ao corpo negro, fornece a intensidade total de energia da radiação emitida I em função da temperatura da cavidade T .

$$I = \sigma T^4 \quad (1.10)$$

Onde $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8} W/m^2K^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann. Sendo I a potência irradiada P por unidade de área A , a equação de Stefan-Boltzmann pode ser escrita como.

$$P = \sigma \epsilon A T^4 \quad (1.11)$$

Onde ϵ é a emissividade, que é igual à unidade para o corpo negro. Outros objetos irradiam mais lentamente, de modo que $0 < \epsilon < 1$. Nesses casos, a emissão de radiação térmica depende de outros fatores tais como a cor e a composição da superfície, embora ela não dependa da temperatura (TIPLER e LLEWELLYN, 2010).

Capítulo 2: Construção dos Cubos de Leslie

Para a realização dos experimentos, deverão ser construídos dois cubos de Leslie, sendo um Cubo de Leslie tradicional (Figuras 4 e 5) e outro modificado com suas faces internas pintadas de branco e preto alternadamente (conforme esquema representado pela Figura 6). Os cubos metálicos foram construídos em alumínio com espessura de 2 mm e receberam tampas elaboradas com o mesmo material, para se evitar perdas de calor por convecção, bem como um suporte de madeira para acomodar o microprocessador NXT e os sensores de temperatura.

Figura 52. Cubo de Leslie tradicional com detalhe para as faces fosca e preta.



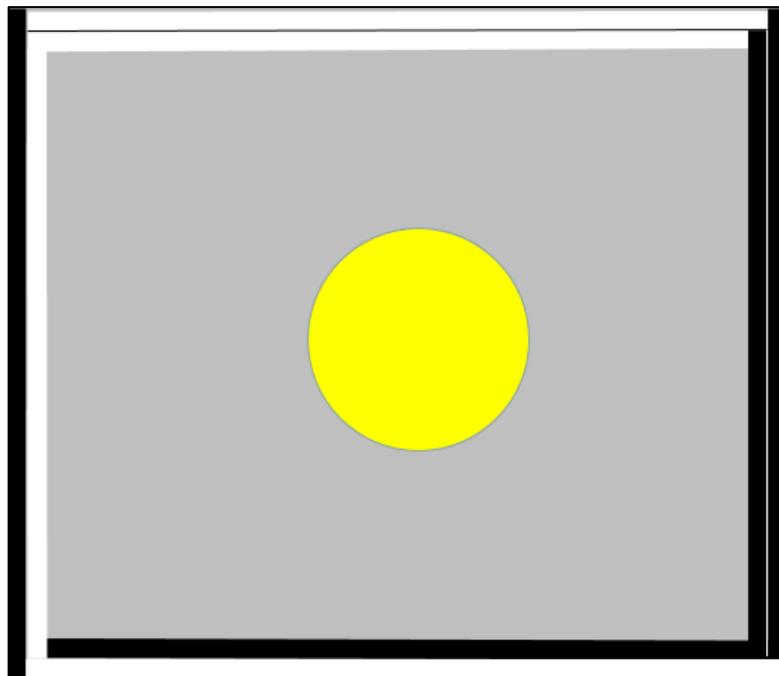
Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 53. Cubo de Leslie tradicional com detalhe para as faces polida e branca.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 54. Vista superior do Cubo de Leslie Modificado. As cores branca, preta, amarela e cinza representam as faces branca, preta, a lâmpada incandescente disposta no centro e o interior do Cubo Metálico, respectivamente.



Fonte: o autor

As bases dos cubos foram construídas em madeira com formato circular (Figura 7) para o encaixe no bocal da lâmpada incandescente, preso a base do conjunto construída em madeira (Figura 8). Um fio condutor foi ligado ao bocal para alimentar a lâmpada incandescente.

Figura 55. Detalhe da base do cubo metálico: Base feita em madeira com formato circular para o encaixe no bocal da lâmpada.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza.

Figura 56. Base em madeira para a lâmpada, o cubo metálico, o NXT e os sensores de temperatura.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

As Figuras 9 a 10 mostram, respectivamente, um dos cubos metálicos em sua base, com e sem a tampa de alumínio e o posicionamento do NXT e dois sensores de temperatura acoplados para a medida simultânea da temperatura de faces paralelas.

Figura 57. Cubo metálico posicionado na base de madeira.



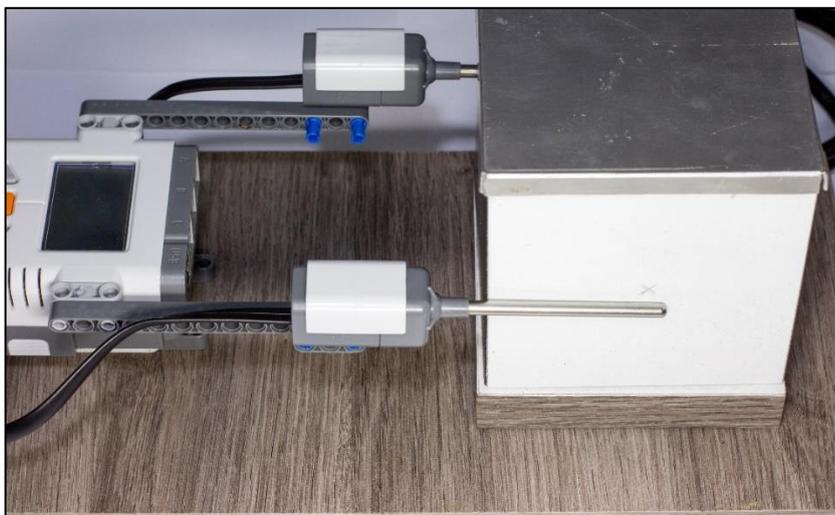
Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Figura 58. Cubo metálico posicionado na base de madeira.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

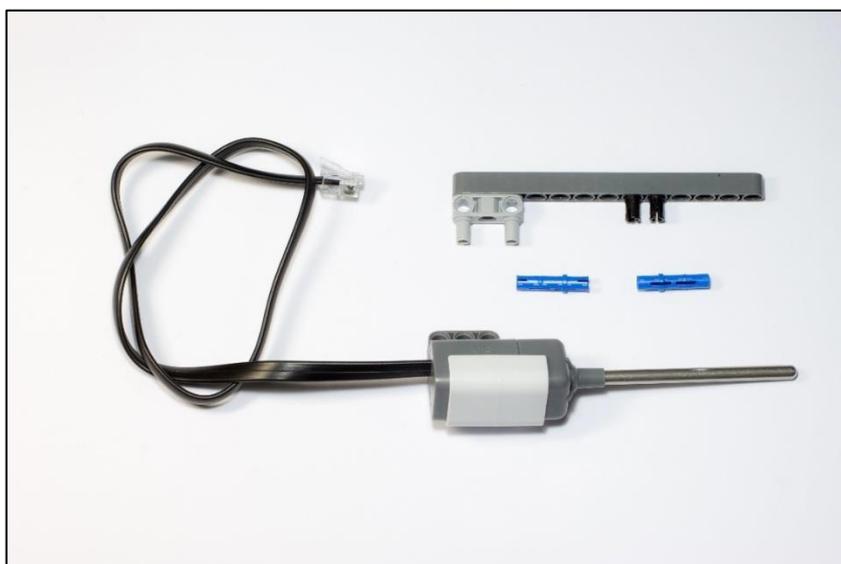
Figura 59. NXT e sensores de temperatura posicionados na base de madeira.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

A montagem dos sensores de temperatura no NXT (Figura 11) se deu por meio de duas barras de 11 unidades Lego® (sistema de medida próprio da marca), dois conectores e um adaptador, mostrados na Figura 12.

Figura 60. Materiais utilizados para a acoplar um dos sensores ao NXT e posicionar paralelamente a uma das faces do cubo metálico.

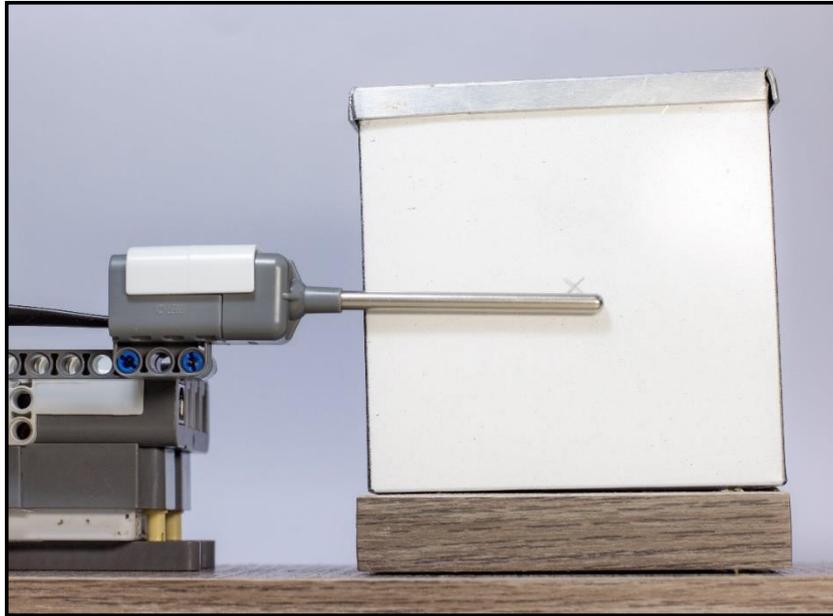


Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Por fim, a Figura 13 mostra a vista lateral do conjunto com a base, cubo metálico, NXT e sensores. Nota-se que com as peças do kit Lego permite a regulagem

de altura do NXT para que o sensor de temperatura fique posicionado aproximadamente a metade da altura do cubo metálico.

Figura 61. Vista lateral do conjunto.



Projeto e confecção: o autor. Fotografia: G. B. de Souza

Capítulo 3: Programação do Experimento

Neste capítulo serão apresentados alguns detalhes sobre a programação do experimento, alguns resultados para os Cubos de Leslie tradicional e modificado, possíveis fontes de erros técnicos para o kit de Robótica Educacional Lego NXT *Mindstorms* e fontes de erros técnicos para a escolha da lâmpada incandescente do conjunto experimental.

3.1 Acesso ao software Lego NXT 2.0 Data Logging

A automatização do experimento é possível por meio do software Lego NXT 2.0 *Data Logging* (a versão comercial pode ser adquirida na internet gratuitamente pelo *link* <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/downloads>). O usuário irá acessar este software a partir do software NXT 2.0 *Programming* (Figura 14).

Figura 62. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Programming*.

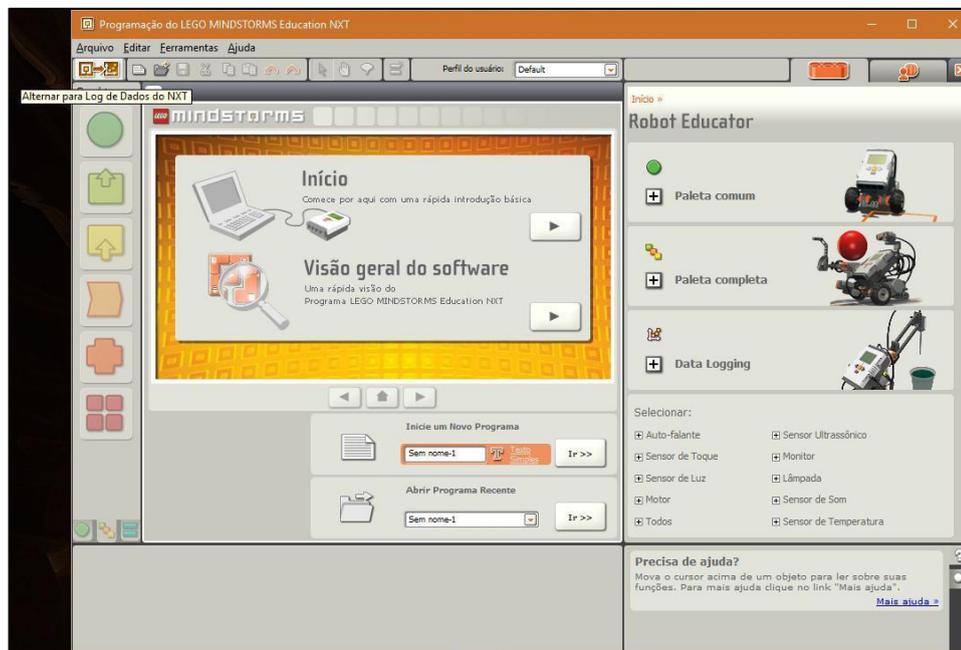


Fonte: o autor.

Ao selecionar a opção *Log de Dados* (Figura 15), que aparece sob a opção “Arquivos”, acessa-se o software Lego NXT 2.0 *Data Logging* (Figura 16). Com este

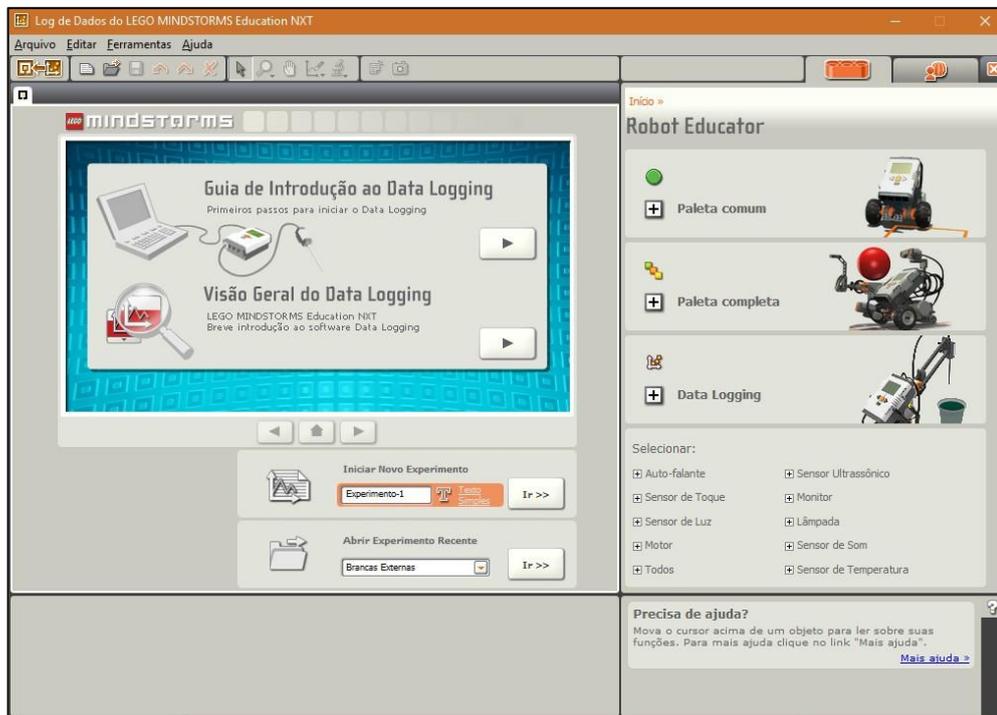
software é possível programar os sensores através das portas 1, 2, 3 e 4, indicadas na Figura 17, para a entrada de dados.

Figura 63. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Programming* – Alternar para Log de Dados do NXT.



Fonte: o autor.

Figura 64. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Data Logging.



Fonte: o autor.

O Lego NXT 2.0 *Data Logging* permite o controle de experimentos a partir do tempo de duração (Figura 17), medido em minutos ou segundos, taxa de coleta de amostras que se pode configurar em 5 Hz (cinco amostras por segundo) ou cinco segundos entre cada amostra (Figura 18), e o tipo do sensor utilizado (Figura 19).

Figura 65. Configuração do tempo do experimento em minutos ou segundos.



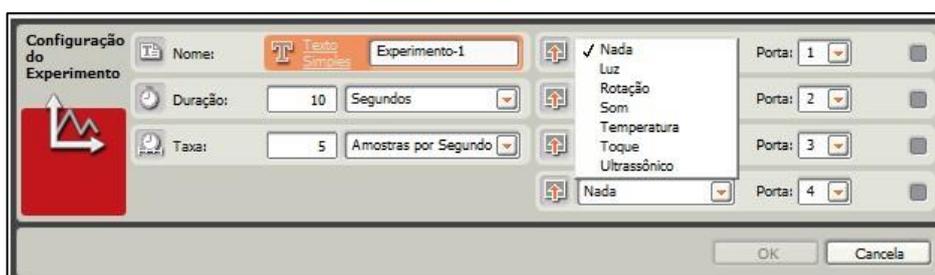
Fonte: o autor.

Figura 66. Configuração do número de amostras ou tempo entre o número de amostras.



Fonte: o autor.

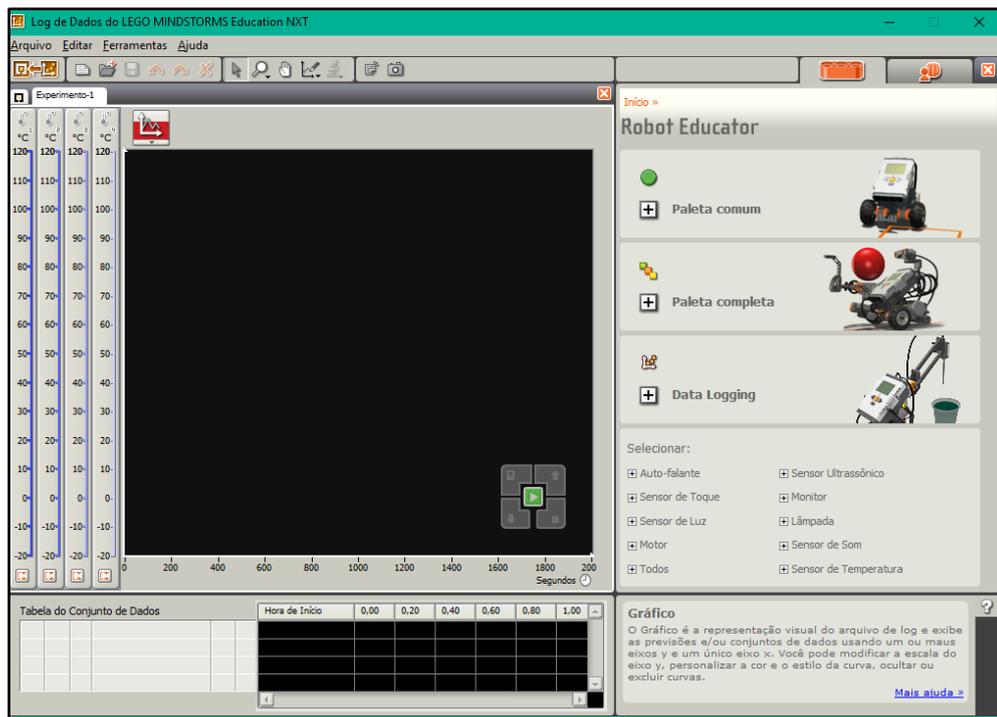
Figura 67. Opções de sensores para a programação de experimentos.



Fonte: o autor.

Como resultado, o *software* gera uma curva dos dados provenientes dos sensores em função do tempo programado. O exemplo da Figura 20 apresenta a programação simultânea de quatro sensores de temperatura, operando nos limites de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ em função de um tempo aleatório de 2000 segundos. É importante notar que o sensor de temperatura pode ser calibrado nas escalas Celsius e Fahrenheit, medindo temperaturas nos intervalos de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-4\text{ }^{\circ}\text{F}$ a 248.

Figura 68. Gráfico gerado pelo software Lego NXT 2.0 Data Logging.

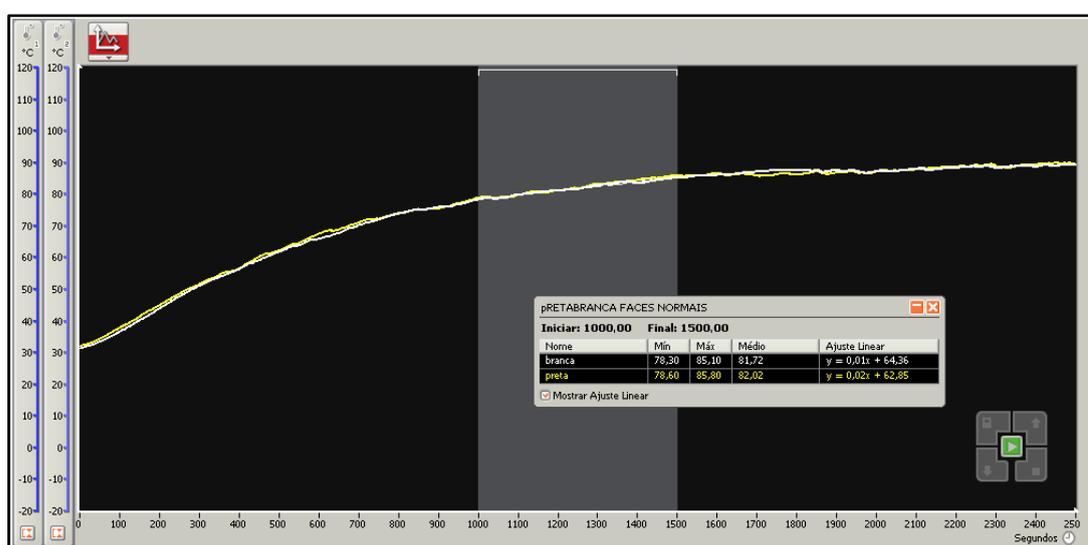


Fonte: o autor.

3.2 Resultados do experimento com os Cubos Metálicos

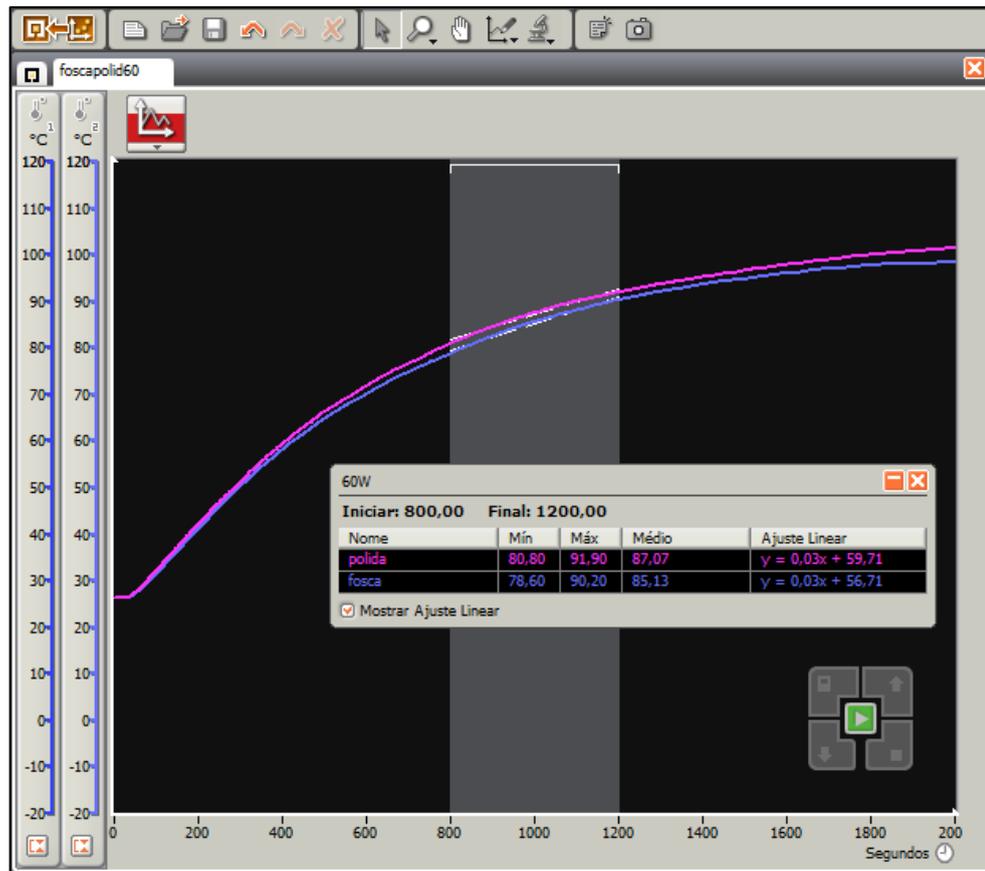
Os resultados obtidos para os cubos de Leslie tradicional e modificado podem ser visualizados nas Figuras 21 a 24. É interessante notar que as diferenças de temperatura para o cubo de Leslie tradicional (Figuras 21 e 22) são muito pequenas e podem ser associadas a erros de leitura e ao contato do sensor de temperatura na face, enquanto que para o Cubo de Leslie modificado (Figuras 23 e 24) as diferenças de temperatura são bem maiores devido à contribuição visível do espectro eletromagnético.

Figura 69. Tela de trabalho do *software* NTX 2.0 *Data Logging*, mostrando a curva de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces branca e preta do Cubo de Leslie tradicional.



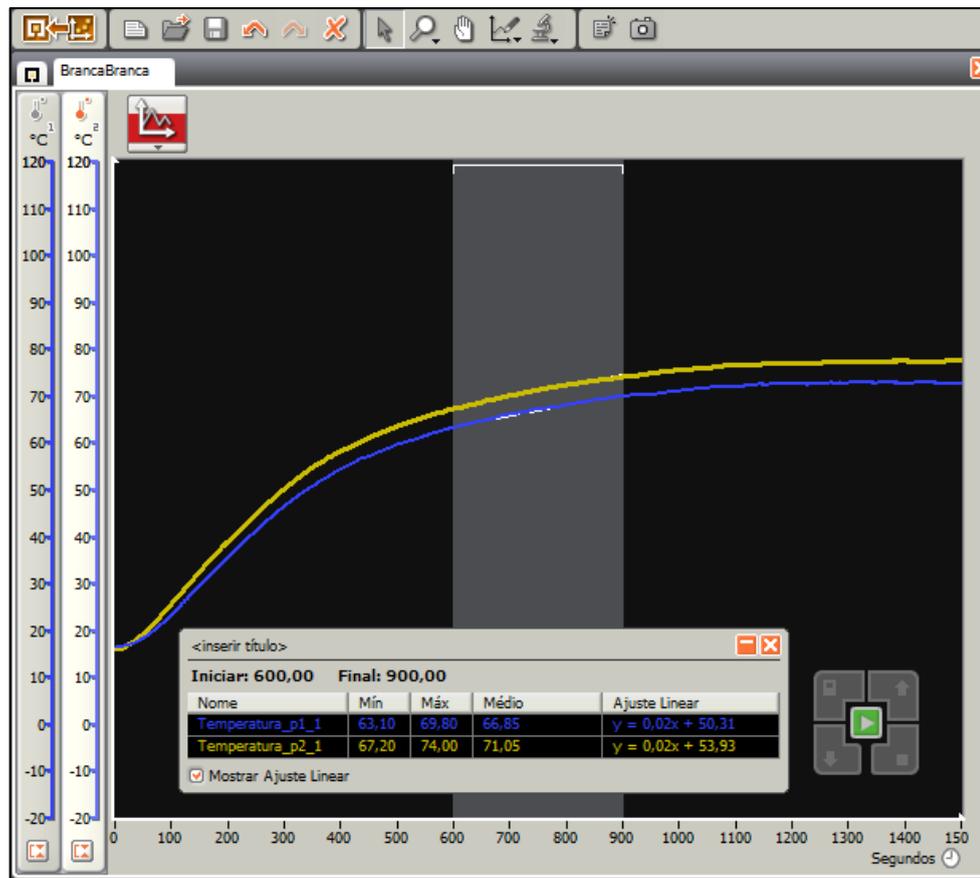
Fonte: o autor.

Figura 70. Tela de trabalho do software NTX 2.0 Data Logging, mostrando as curvas de temperatura (°C) em função do tempo (s) para as faces polida e fosca do Cubo de Leslie tradicional.



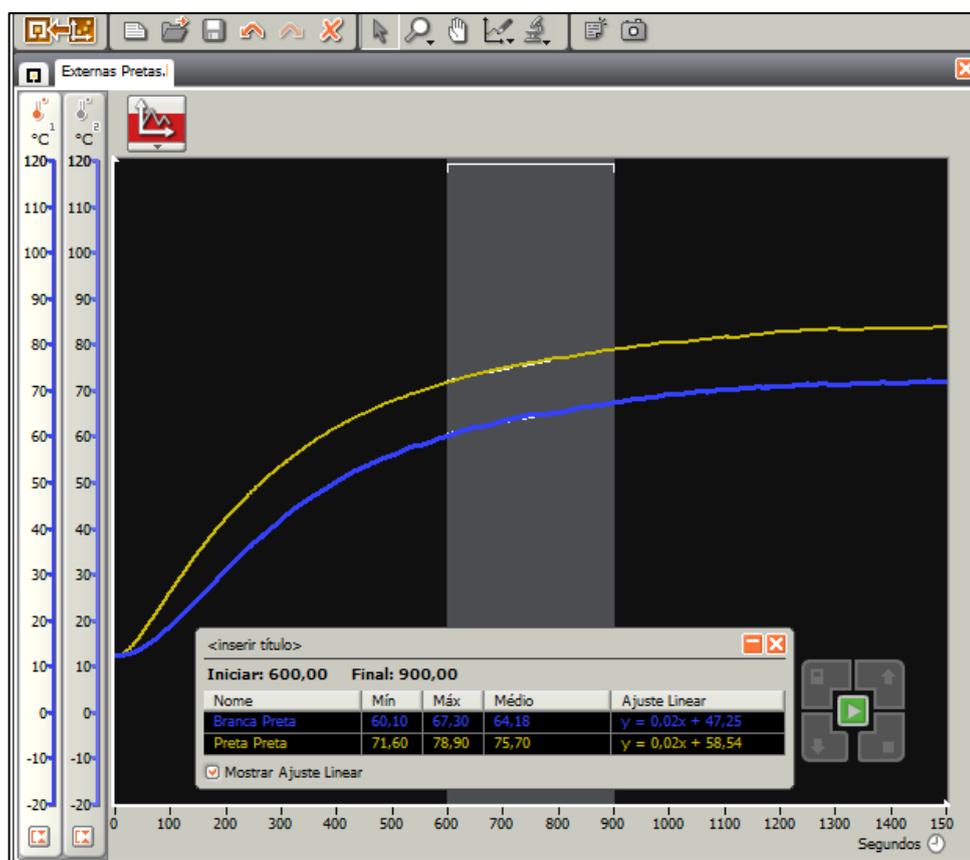
Fonte: o autor.

Figura 71. Tela de trabalho do software NTX 2.0 *Data Logging*, mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Branca (externa), linha azul e Preta (interna) – Branca (externa) linha amarela do Cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

Figura 72. Tela de trabalho do software NTX 2.0 *Data Logging*, mostrando as curvas de aquecimento das faces Branca (interna) – Preta (externa), linha azul e Preta (interna) – Preta (externa) linha amarela, para o cubo de Leslie modificado.



Fonte: o autor.

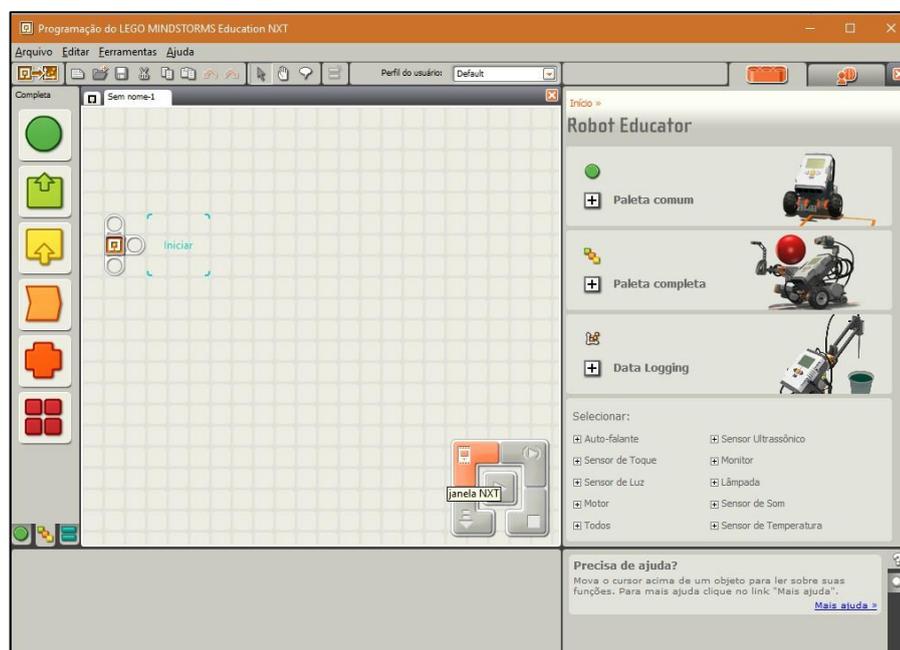
Pode-se observar que a diferença de temperatura é maior nas faces que são pintadas de preto internamente (Figura 24) em relação às faces pintadas de branco internamente (Figura 23). Isso se deve ao fato de que a cor preta retém a radiação em toda a faixa do espectro visível, enquanto que a face branca reflete esses comprimentos de onda. Sabendo-se que um bom absorvedor é um bom emissor, a temperatura das faces pretas é superior à das faces brancas.

3.3 Possíveis Erros Técnicos

3.3.1 Erros na transferência de dados para o NXT

Muitas vezes, ao se programar o experimento utilizando este *software*, os dados não são transferidos ao microprocessador NXT devido a sua limitação de memória. Podemos acessar a memória do NXT conectado ao computador pela tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Programming* na opção “Janela do NXT” (Figura 25).

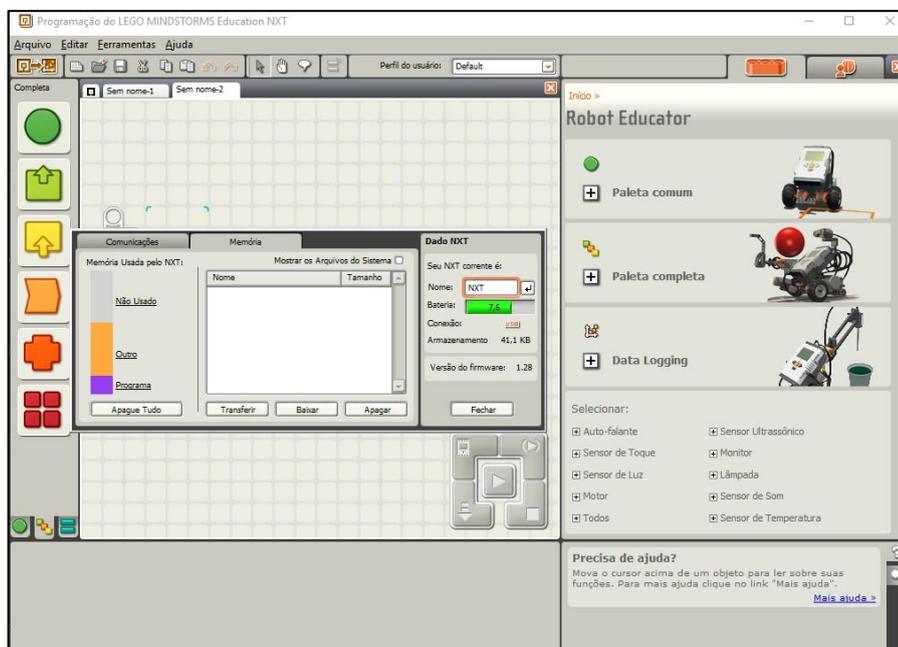
Figura 73. Tela de trabalho do *software* Lego NXT 2.0 *Programming* – Opção “Janela do NXT” para acesso à memória.



Fonte: o autor.

Uma nova janela abrirá (Figura 26) mostrando os níveis de memória do NXT disponíveis e opções como “baixar”, “memória” e “apagar”.

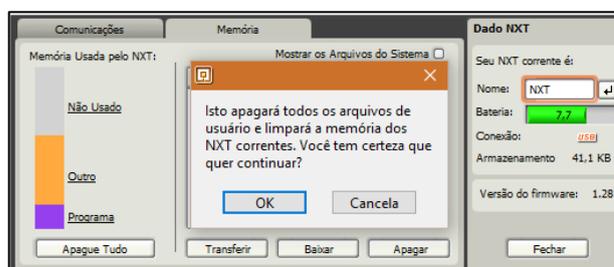
Figura 74. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 Programming – Níveis de memória do NXT.



Fonte: o autor.

Selecionando a opção “apague tudo” (Figura 27), uma nova caixa de diálogo será aberta, clicando na opção “ok” o usuário irá apagar todos os dados presentes no microprocessador NXT. Assim, será possível corrigir o erro e enviar a programação do experimento para que a leitura de dados dos Cubos de Leslie tradicional ou modificado inicie.

Figura 75. Caixa de diálogo – apagando todos os dados presentes no NXT.



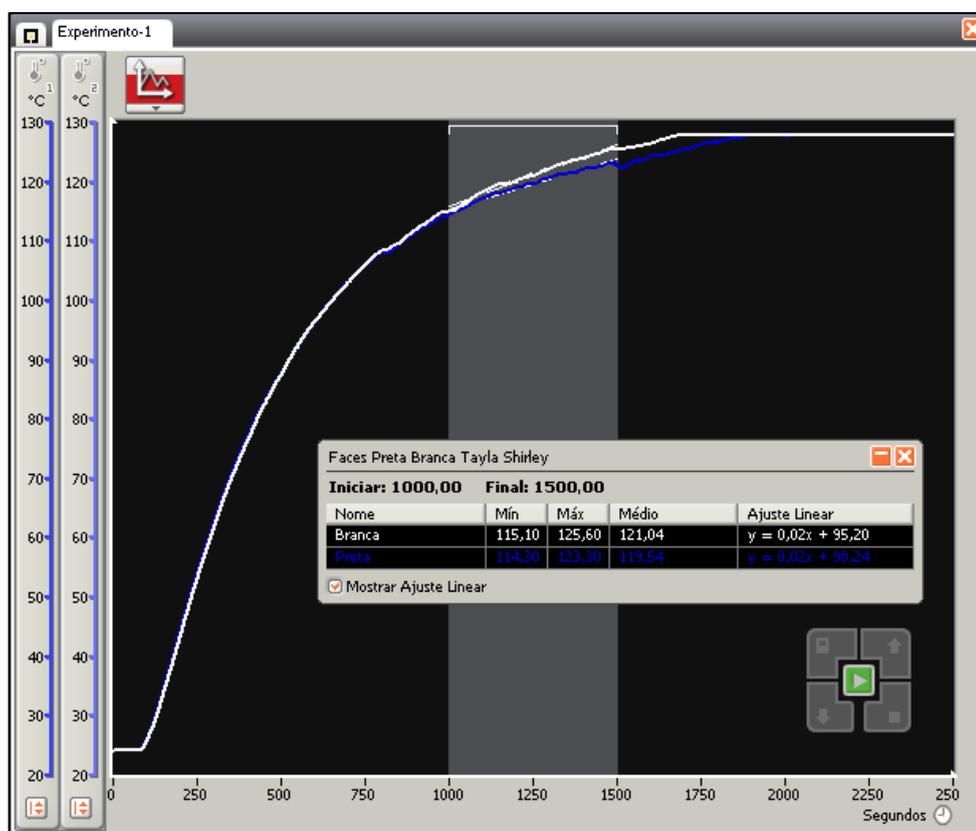
Fonte: o autor.

É importante salientar que muitas vezes o microprocessador deve ser reiniciado desligando-o e religando-o para que ele receba a programação realizada pelo software Lego NXT 2.0 *Data Logging*.

3.3.2 Erro na coleta de dados devido a limitações do sensor de temperatura

Para que os sensores de temperatura funcionem de maneira adequada, recomenda-se a utilização de lâmpadas incandescentes de potência até 60 Watts, pois a temperatura dos cubos ficará dentro do limite de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ que o sensor pode registrar. Lâmpadas incandescentes com potência de 100 Watts podem ultrapassar o valor de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, gerando um gráfico como o apresentado abaixo pela Figura 28.

Figura 76. Tela de trabalho do software Lego NXT 2.0 *Data Logging*, com os resultados obtidos para o Cubo de Leslie tradicional com lâmpada de 100 W. As medidas foram realizadas nas faces branca e preta do Cubo.



Fonte: o autor.

É possível notar na figura acima que o sensor deixa de funcionar corretamente depois do tempo de 1600 segundos, pois a temperatura ultrapassa o valor de 120 °C. Assim não é possível visualizar a faixa que a face do cubo entra em equilíbrio térmico, pois as curvas são truncadas no valor máximo permitido

Capítulo 4: aplicação em sala de aula.

4.1 Radiação de Corpo Negro

Recomenda-se utilizar os Cubos de Leslie tradicional e modificado simultaneamente em sala de aula para a comparação e análise dos resultados com os alunos. O Cubo de Leslie tradicional apresenta temperaturas iguais para cada face, enquanto que o Cubo de Leslie modificado gera gráficos com temperaturas diferentes para cada face, pintadas interna e externamente de branco e preto, de forma alternada. Isso se deve à contribuição da faixa visível do espectro eletromagnético.

É interessante que as equipes não saibam que um dos Cubos de Leslie é modificado, tendo as faces pintadas internamente, para que mais discussões possam surgir devido à divergência dos resultados para cada conjunto experimental. As equipes de trabalho podem ainda utilizar um pirômetro (termômetro infravermelho) para acompanhar a evolução da temperatura das faces dos cubos metálicos.

4.2 Materiais utilizados

- Cubo de Leslie tradicional;
- Cubo de Leslie modificado;
- 4 sensores de temperatura;
- 2 NXT;
- Pirômetro de infravermelho;
- Barras e conectores Lego.

4.3 Aula 01: Montagem do conjunto experimental e programações

O professor deverá orientar os alunos a seguirem os passos de montagem e programação apresentados nos Capítulos 1 e 2 deste material. Um questionário pode ser aplicado para a introdução dos conceitos que serão abordados após o término da atividade.

4.3.1 Questionário inicial

Neste questionário, você irá responder as questões para fins de investigação inicial do seu conhecimento. Ao final dessa atividade, você responderá a um novo questionário para verificar seu avanço e aprendizagem enquanto ao conteúdo abordado nas aulas de Física.

1 – Qual a diferença entre Calor e Temperatura?

2 – Quais são os tipos de Transferência de Calor que observamos neste experimento? Faça uma síntese a partir dos conhecimentos que já adquiriu ao longo dessa Oficina de Aprendizagem.

3 – Como você pode explicar a diferença de temperatura de corpos pintados de Branco e Preto? Elas têm diferença? Se sim, por que isso ocorre?

4 – Existe relação entre a temperatura e o tipo de radiação emitida pela fonte de calor? Qual?

4.4 Aula 02: experimentação e análise dos resultados

Na segunda aula, os alunos realizarão o experimento e em seguida, farão o registro dos resultados respondendo outro questionário final a aplicação deste experimento. O professor deverá fazer a análise dos resultados junto com os alunos comparando os gráficos obtidos com o Cubo de Leslie tradicional e modificado.

Assuntos como a Radiação de Corpo Negro poderão ser introduzidos a partir dos resultados para o Cubo de Leslie tradicional e a contribuição visível do espectro eletromagnético com os resultados do Cubo de Leslie modificado. Equilíbrio térmico e emissividade poderão ser tratados analisando os resultados quando as curvas dos gráficos ficam constantes. A seguir apresenta-se uma proposta de questionário final da atividade.

4.4.1 Questionário Final

Agora você irá registrar os gráficos obtidos durante a experimentação e responderá algumas questões relacionadas ao desenvolvimento da atividade.

1 - Desenhe os gráficos da temperatura em relação ao tempo observados no experimento dos cubos metálicos.

Cubo de Leslie tradicional	Cubo de Leslie modificado

2 - Explique a diferença dos gráficos obtidos com o experimento. Os resultados foram iguais? Porque?

3 - Por que objetos expostos ao sol, ou muito próximos a uma lâmpada incandescente, se aquecem? O aquecimento do objeto será igual se a lâmpada for fluorescente ou de Led, com a mesma potência (mesmo valor em watts)?

4 - Considerando as formas de transferência de calor discutidas no início do bimestre, relacione-as ao experimento realizado com os cubos apontando onde cada tipo de transferência ocorre.

5 - Se aquecer uma barra de metal no fogo, o que acontece com ela? E se aquecer muito, como nas siderúrgicas?

6 - Se duas chapas de metal, uma branca e uma preta, forem expostas ao Sol, você sentirá a mesma sensação ao tocá-las? E se você medir sua temperatura, o que espera acontecer?

7 - Corpos pintados de cor preta, em geral apresentam temperaturas maiores que os pintados de cores brancas. Porque isso ocorre?

8 – Qual a definição de corpo negro? Podemos associar este conjunto experimental a este tipo de corpo?

Referências bibliográficas

BAHIANA, M. **Radiação de Corpo Negro**. Instituto de Física – UFRJ. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/>> Acesso em 29/05/2016;

BETZ, M. **Física do Século XX – A**. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/iqindex.htm> Acesso em: 29/05/2016.

GRUPO DE ENSINO DE FÍSICA, UFSM. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/gef/>>. Acesso em: 12/06/2016.

HEWITT, P, G. **Física Conceitual**. 9ª ed. São Paulo: ARTMED EDITORA S.A. 2002.

LABVIRTUAL. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_joomap&Itemid=128> Acesso em: 29/05/2016

MEDEIROS, W. H. **PRIMÓRDIOS DA FÍSICA QUÂNTICA: RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO**. UFR, 2010.

MICHA, D. N. et al. **Enxergando o escuro: a física do invisível**. Física na Escola, v. 12, n. 2, 2011.

NOVO, M. M. et. al. **Fundamentos básicos de emissividade e sua correlação com os materiais refratários, conservação de energia e sustentabilidade**. Cerâmica 60. p. 22-33, 2014;

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica – vol. 4**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998;

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica – vol. 4**. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998;

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro, LTC Editora, 2010.

SÉRIE
PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA

VOLUME 1 – Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms

Wanderley Marcílio Veronez, Gelson Biscaia de Souza, Luiz Américo Alves Pereira,

VOLUME 2 – O Arduino na Programação de Experiências em Termodinâmica e em Física Moderna

Marilene Probst Novacoski, Luiz Américo Alves Pereira, Gelson Biscaia de Souza

VOLUME 3 – Do Magnetismo à Lei da Indução Eletromagnética de Faraday

Marlon Labas, Fábio Augusto Meira Cássaro

VOLUME 4 – Estudando Astronomia, Aprendendo Física: Atividades Práticas de Observação do Sol

Ana Caroline Pscheidt, Marcelo Emílio

VOLUME 5 – Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano

Gustavo Trierveiler Anselmo, Júlio Flemming Neto, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 6 – Ensino dos Conceitos de Movimento e Inércia na Mecânica, a partir de uma Concepção de Ciência que não Utiliza a Lógica Binária

Luiz Alberto Clabonde, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 7 – Uma Proposta de Utilização de Mídias Sociais no Ensino de Física com Ênfase à Dinâmica de Newton

Heterson Luiz De Lara, Alexandre Camilo Junior, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 8 – O Eletromagnetismo e a Física Moderna através de Atividades Experimentais

Ademir Kreпки Henisch, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 9 – Física Nuclear e Sociedade

Tomo I – Caderno do Professor

Tomo II – Caderno do Aluno

Josicarlos Peron, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 10 – Conceituação e Simulação na Dinâmica do Movimento

Tomo I – Caderno do Professor

Tomo II – Caderno do Aluno

Leandro Antonio dos Santos, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 11 – Montagem de um Painel Didático e Atividades Experimentais em Circuitos de Corrente Contínua

Renato Dalzotto, Sérgio da Costa Saab, André Maurício Brinatti

VOLUME 12 – Nas Cordas dos Instrumentos Musicais

Luís Alexandre Rauch, André Maurício Brinatti, Luiz Fernando Pires

VOLUME 13 – O Fóton em Foco: Relações entre Cor, Frequência e Energia de Radiações Eletromagnéticas

Romeu Nunes de Freitas, André Maurício Brinatti, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 14 –

Tomo I - Iniciação em Robótica e Programação com Algumas Aplicações em Física

Tomo II – Tutorial: Tela Interativa com Controle do Nintendo Wii

Hernani Batista da Cruz, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 15 – O Uso do Software Tracker no Ensino de Física dos Movimentos

Edenilson Orkiel, Silvio Luiz Rutz da Silva



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons –
Atribuição -Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

Disponível em:

<http://uepg.br/proex/Home/ebook.html>

