



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE**

**NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE**

**FÍSICA-LICENCIATURA**



**Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica:  
Propostas de atividades experimental e lúdica para ensino do  
Efeito Fotoelétrico.**

**Renato dos Santos Silva**

Caruaru – PE  
Janeiro de 2016

**Renato dos Santos Silva**

**Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica:  
Propostas de atividades experimental e lúdica para ensino do  
Efeito Fotoelétrico.**

Monografia de Graduação apresentada ao  
Curso de Física-Licenciatura do Núcleo de  
Formação Docente do Centro Acadêmico  
do Agreste da Universidade Federal de  
Pernambuco como requisito parcial para a  
obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientadora

Prof. Dr<sup>a</sup>. Gislene Micarla Borges de Lima

Co-Orientadora

Prof. Dr<sup>a</sup>. Kátia Calligaris Rodrigues

Universidade Federal de Pernambuco

Núcleo de Formação Docente - NFD

Caruaru – PE

Janeiro de 2016

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-1242

S586f Silva, Renato dos Santos.  
Física moderna e contemporânea na educação básica: propostas de atividades experimental e lúdica para ensino do efeito fotoelétrico. / Renato dos Santos Silva. - Caruaru: O Autor, 2016.  
97f. il. ; 30 cm.

Orientadora: Gislene Mícarla Borges de Lima.  
Coorientadora: Kátia Calligaris Rodrigues  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Licenciatura em Física, 2016.  
Inclui referências bibliográficas

1. Física moderna. 2. Física Contemporânea. 3. Ensino médio. 4. Ensino fundamental. 5. Atividades lúdicas. 6. Física experimental. I. Lima, Gislene Mícarla Borges de. (Orientadora). II. Rodrigues, Kátia Calligaris (Coorientadora). III. Título.

371.12 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-002)

Monografia de Graduação sob o título “*Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica: Propostas de atividades experimental e lúdica para ensino do Efeito Fotoelétrico*” apresentada por Renato dos Santos Silva e aceita pelo Núcleo de Formação Docente do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, sendo aprovada por todos os membros da banca examinadora abaixo especificada:

---

Paulo Henrique Ribeiro Peixoto  
Coordenador do curso de Física-Licenciatura

---

Gislene Micarla Borges de Lima  
Orientadora e 1ª Examinadora

---

Kátia Calligaris Rodrigues  
2ª Examinadora

---

Thatyara Freire de Souza  
3ª Examinadora

Caruaru - PE, 19 de Janeiro de 2016.

*A Deus, que me criou e me salvou, sem o qual  
eu seria nada e não saberia para onde ir.*

## **Agradecimentos**

Agradeço a **Deus: Pai** por nos ter dado o dom da vida e nos sustentar a cada dia, **Jesus Cristo** por ter nos dado a possibilidade da salvação e interceder por nós a todo o momento e **Espírito Santo** por nos convencer do pecado, da justiça e do juízo. Sem Ele eu não teria chegado até aqui.

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiam e me orientam nos caminhos a seguir.

Agradeço ao meu irmão Rafael, meu amigo que tem sempre me dado bons conselhos.

Agradeço a minha esposa Jaqueline, meu presente de Deus, que tem sempre estado ao meu lado em todos os momentos e é minha melhor amiga.

Agradeço aos meus filhos Natanael, Raquel e Filipe, os três outros maiores presentes dados a mim por Deus, e que apesar da pouca idade, têm sempre se mostrado compreensivos aos momentos onde o pai tem que estar um pouco afastado em virtude do trabalho e dos estudos.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos de curso com os quais compartilhei muitos bons momentos e que estiveram sempre junto me ajudando ao longo de toda a formação, em especial Felipe, Deleon e Gladistony.

Agradeço a todos os professores que me guiaram e me ajudaram na construção de todo o conhecimento adquirido ao longo desses quatro anos e meio de curso.

Agradeço a todo o NFD e a coordenação do curso de Física-licenciatura pelo trabalho desempenhado, compreensão e ajuda a este discente que é membro da igreja adventista do sétimo e tem como um dos princípios de fé a guarda sabática, conforme preceituado no Decálogo Divino (Êxodo 20), sem esse apoio não teria como ter chegado à conclusão deste curso. E rogo a Deus que os outros discentes sabatistas possam ter a mesma consideração e oportunidade.

*“Alguns homens não têm firmeza de caráter. Assemelham-se a uma bola de cera e podem ser moldados em qualquer aspecto concebível. Não possuem forma e consistência definitivas e são inúteis no mundo. Essa fraqueza, indecisão e ineficiência precisam ser vencidas. Existe no verdadeiro caráter cristão alguma coisa de indomável, que não pode ser moldada nem subjugada pelas circunstâncias adversas. Os homens precisam ter, moralmente falando, espinha dorsal, uma integridade que não é vencida pela lisonja, pelo suborno ou o terror”*

Ellen G. White

*“Tu, Senhor conservarás em perfeita paz  
aquele cujo propósito é firme;  
pois ele confia em Ti.”*

Isaias 26:3

## RESUMO

O ensino de Física nos Níveis Fundamental e Médio tem se mostrado defasado em relação aos avanços tecnológicos da sociedade; observa-se que o conteúdo ensinado atualmente é o mesmo que foi ensinado há trinta anos, com as mesmas metodologias e praticamente o mesmo material. Muito desta tecnologia é encontrada nas casas e nos bolsos das pessoas, como celulares e televisores de LED, porém não há compreensão de que o uso da Física está por trás destas invenções. Pesquisas mostram a necessidade de atualizar o currículo de Física e a inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea dentro dos projetos curriculares propostos para a Escola. No presente trabalho duas propostas serão apresentadas: uma de ensino experimental simulando o sistema de acendimento automático da iluminação pública e uma de atividade lúdica, o jogo “Queimada Fotoelétrica”, ambas visando auxiliar o professor no ensino do efeito fotoelétrico, para os Níveis Fundamental e Médio. Esse tema foi escolhido devido à presença desse fenômeno em alguns objetos cotidianos. Amparados pelo PCN e PCN+, observa-se a necessidade de inserção da temática dos efeitos da radiação sobre a matéria, possibilitando uma compreensão dos conteúdos por parte dos alunos.

Palavras-chave: Física Moderna e Contemporânea, Ensinos Fundamental e Médio, Atividade Experimental e Lúdica.

## **ABSTRACT**

The physical education in the primary and secondary levels has been shown lagged behind the technological advancements of the society; It notes that the content currently taught is the same as was taught for the past thirty years with the same methodologies and about the same material. Much of this technology is found in homes and in people's pockets, like cell phones and LED TVs, but there is no understanding that the use of physics is behind these inventions. Research shows the need to update the physics curriculum and the inclusion of modern and contemporary physics content within the curriculum projects proposed for school. In the present work two proposals will be presented: an experimental teaching simulating the automatic ignition system of public lighting and a playful activity, the game "Burnt Photoelectric", both aiming to help the teacher in the teaching of the photoelectric effect, for the elementary and secondary level. This theme was chosen because of the presence of this phenomenon in some everyday objects. Supported by PCN and PCN+, there is the need to subject the inclusion of the effects of radiation on matter, enabling an understanding of the content by the students.

**Keywords:** Modern and Contemporary Physics, Elementary and High School, Experimental and Playful Activity.

## Lista de Figuras

Figura 1: Gráficos 1 a 6 com perguntas e resultados do questionário aplicado. ....	22
Figura 2: O esquema do arco, segundo Charles Maguerez. ....	25
Figura 3: Charge sobre o Edifício da Física Clássica. ....	29
Figura 4: Espectro de emissão de um corpo negro (experimental).. ....	31
Figura 5: Catástrofe Ultravioleta. ....	32
Figura 6: Lei de Planck comparada com a curva experimental.. ....	33
Figura 7: O efeito fotoelétrico e montagem experimental básica. ....	34
Figura 8: Distribuição da frequência (f) das ondas eletromagnéticas. ....	35
Figura 9: Arranjo experimental para determinação da energia cinética máxima dos elétron .....	36
Figura 10: Corrente elétrica (i) em função da diferença de potencial (V) aplicada, com variações da intensidade luminosa (I) .....	37
Figura 11: Dependência do potencial de freamento ( $V_F$ ) com frequência da luz incidente .....	38
Figura 12: Função trabalho (W) para diferentes elementos em elétron-volt (eV). ....	41
Figura 13: Frequências de corte e dependência linear do potencial $V_F$ com a frequência. ....	42
Figura 14: Dispositivo LDR. ....	44
Figura 15: Gráfico do comportamento do LDR. ....	45
Figura 16: Sensibilidade de um LDR para vários comprimentos de onda da luz incidente. ....	46
Figura 17: Circuito de 220V montado. ....	50
Figura 18: Circuito de 220V montado e fixado na maquete. ....	50
Figura 19: Circuito de 220V montado e fixado na maquete, vista superior. ....	51
Figura 20: Esquema do circuito de 220V .....	51
Figura 21: Circuito 220V em funcionamento. ....	52
Figura 22: Circuito de baixa tensão, passo 1. ....	53
Figura 23: Circuito de baixa tensão, passo 2. ....	53
Figura 24: Circuito de baixa tensão, passo 3 e 4. ....	54
Figura 25: Circuito de baixa tensão montado. ....	55
Figura 26: Circuito de baixa tensão montado e fixado na maquete. ....	55

Figura 27: Esquema do circuito de baixa tensão.....	56
Figura 28: Circuito de baixa tensão montagem mais simples, com apenas dois LEDs. .....	56
Figura 29: Circuito de baixa tensão montagem mais simples, com apenas dois LEDs, vista superior.....	57
Figura 30: Esquema do circuito de baixa tensão montagem mais simples, com apenas dois LEDs. ....	57
Figura 31: Esquema do funcionamento do relé de 12V. ....	59
Figura 32: Circuito de baixa tensão em funcionamento, LDR não iluminado. ....	59
Figura 33: Circuito de baixa tensão em funcionamento, LDR iluminado. ....	59
Figura 34: Esquema da montagem multímetro – LDR. ....	60
Figura 35: Montagem multímetro – LDR, utilizando-se Kit de eletrônica, sem iluminação (esquerda) e iluminado (direita).....	61
Figura 36: Esquema do circuito – Alarme de furto. ....	62
Figura 37: Circuito do alarme de furto montado com objeto bloqueando o laser, LDR não iluminado.....	63
Figura 38: Circuito do alarme de furto ativado com a retirada (“furto”) do objeto, LDR iluminado.....	63
Figura 39: Esquema do circuito – Alarme de invasão. ....	65
Figura 40: Relé fotoelétrico 220V, lâmpada incandescente no bocal e plug. ....	66
Figura 41: Figura 40: Relé 12V de 5 pinos. ....	66
Figura 42: LDR, tamanhos variados.....	67
Figura 43: LEDs. ....	67
Figura 44: Buzzer 12V.....	67
Figura 45: Relé fotoelétrico aberto. ....	68
Figura 46: Relé 12V aberto, sendo feita a ativação do indutor para visualização do movimento da chave. ....	68
Figura 47: Bancada com toda montagem experimental.....	69
Figura 48: Jogo de queimada tradicional. ....	71
Figura 49: Fluxograma das etapas do jogo “Queimada Fotoelétrica”.....	75
Figura 50: Esquema das delimitações e disposições do jogo. ....	79
Figura 51: Bolas de plástico coloridas e recipiente sugeridos para o jogo.....	79
Figura 52: Bolas coloridas maiores, sugestão para ambientes maiores e/ou abertos. .....	80

Figura 53: Modelo de cartaz de informações para a dinâmica definida neste item (5.6).....	80
Figura 54: Modelo alternativo de cartaz para a dinâmica simplificada, sem análise de frequência.....	81
Figura 55: Modelo de cartões com valores para barreira de saída. ....	81
Figura 56: Modelo de cartões com valores para barreira de saída para a dinâmica simplificada.....	82
Figura 57: Modelo de cartão-resposta para a dinâmica definida neste item (5.6). ....	82
Figura 58: Esquema do circuito montado para o jogo. ....	83
Figura 59: Circuito eletrônico montado para o jogo, vista frontal.....	83
Figura 60: Circuito eletrônico montado para o jogo com todas as pilhas, ativação indicativa da vitória. ....	84
Figura 61: Circuito eletrônico montado para o jogo, vista posterior.....	84
Figura 62: Modelo alternativo de cartaz de informações para a dinâmica utilizando as sete cores.....	85
Figura 63: Modelo alternativo de cartaz para a dinâmica simplificada utilizando as sete cores.....	85
Figura 64: Modelo de cartão-resposta para a dinâmica utilizando as sete cores.....	86
Figura 65: Tabela alternativa para intensidade luminosa / quantidade de bolas a serem arremessadas.....	86

## Sumário

1. Introdução.....	14
2. A Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos Ensinos Fundamental e Médio ...	16
2.1. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) .....	16
2.2. Os conteúdos da FMC no Ensino Básico.....	17
2.3. Sobre as atividades experimentais e lúdicas para o ensino.....	20
3. A Quantização da Energia e o Efeito Fotoelétrico .....	28
3.1. Um breve histórico sobre a Física no final do século XIX .....	28
3.2. Uma revisão sobre a Radiação de Corpo Negro e a Hipótese de Planck ....	30
3.3. O Efeito Fotoelétrico.....	33
3.4. A contribuição de Einstein.....	38
3.5. Resistência dependente da Luz .....	43
4. Proposta de atividade experimental: Simulação do sistema de acendimento automático de iluminação pública .....	47
4.1. Material e montagem das maquetes .....	47
4.2. Material para montagem dos circuitos.....	48
4.2.1.Circuito de 220V .....	48
4.2.2.Circuito de baixa tensão.....	48
4.3. Montagem e funcionamento dos circuitos .....	49
4.3.1.Circuito de 220V .....	49
4.3.2.Circuito de baixa tensão.....	53
4.4. Montagens complementares .....	60
4.4.1.Multímetro – LDR .....	60
4.4.2.Alarme de furto .....	62
4.4.3.Alarme de invasão .....	64
4.5. Ilustrações gerais .....	66

5. Proposta de atividade lúdica: “Queimada Fotoelétrica” .....	70
5.1. Objetivo do jogo .....	70
5.2. Requisitos .....	70
5.3. Descrição .....	70
5.4. Procedimento .....	72
5.5. Observações e variações.....	76
5.6. Modelos, tabelas e ilustrações.....	78
6. Conclusão.....	87
Referências .....	89
Apêndice .....	93
PLANO DE AULA – ATIVIDADE EXPERIMENTAL .....	93

## 1. Introdução

A cada dia a tecnologia vem ganhando mais espaço no meio social e mais adeptos ao uso da mesma em todas as faixas etárias, a maioria das pessoas possui celulares smartphones, muitas residências e estabelecimentos comerciais estão equipados com alarmes, com sensores de movimento, nos shoppings há portas automáticas, nos supermercados existem esteiras, equipamentos desenvolvidos graças às pesquisas em ciências, em especial na área da Física, que têm proporcionado vários avanços tecnológicos, grande parte dessa pesquisa está sendo feita com base na Mecânica Quântica.

No entanto, apesar da maioria da tecnologia presente no cotidiano está baseada em fenômenos da Mecânica Quântica, que está inserida na Física Moderna e Contemporânea, essa Física não é ensinada nas escolas, que ainda oferecem o mesmo conteúdo ministrado há três décadas, conteúdo esse que é o mesmo desde o século XIX. O ensino da Física na Educação Contemporânea é desatualizado em questões de conteúdos e tecnologias, centrado no docente, comportamentalista, focado no treinamento para as provas e aborda a disciplina como uma ciência acabada, não abordando a Física como uma ciência baseada em perguntas, modelos, metáforas e aproximações, baseando as aulas em apenas um único livro ou apostila, não busca uma aprendizagem significativa crítica (MOREIRA, 2013).

Um dos fatores apontados pelos professores de Física para não se ensinar Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos Ensinos Fundamental e Médio, é que os alunos não possuem uma base conceitual capaz de permitir a compreensão dos conteúdos dessa Física, que para eles é muito complicada. Para Cavalcante, *et al.* (1999), a afirmação de que os alunos não têm bases conceituais que permitam a compreensão de Física Moderna e Contemporânea está equivocada. Muitos professores consideram a matemática utilizada pela Física Moderna como complicada e difícil, dificultando o entendimento dos conceitos. Segundo Ostermann e Moreira (2000a), a Física Clássica também é difícil de ser compreendida, mas é ensinada.

O currículo de Física do Ensino Médio normalmente é dividido em Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo, a distribuição dos conteúdos de Física durante os três anos do Ensino Médio segue a divisão adotada pelos

manuais, onde no primeiro ano deve ser estudado a Mecânica, no segundo ano, Física Térmica, Óptica e Ondas, e no terceiro ano, deve-se estudar Eletromagnetismo. Conforme afirma Terrazzan (1992), geralmente os conteúdos de Física que são abordados durante o Ensino Médio são Cinemática, Leis de Newton, Termologia, Óptica Geométrica, Eletricidade e Circuitos Simples. Se ao final dos conteúdos de Eletromagnetismo houver algum tempo estuda-se alguns tópicos de Física Moderna.

É comum os professores de Física ouvirem frases do tipo: “A Física não serve para nada” ou “Física e Matemática são a mesma coisa”; isso é um reflexo de como a Física é abordada em sala de aula, pois, os alunos ouvem falar de buracos negros, teoria das supercordas, universos paralelos, mas não conseguem associar esses fenômenos à Física, pois, a Física que é ensinada está descontextualizada da realidade dos alunos, que observam lasers, alarmes, portas automáticas mas não conseguem compreender o que está por trás daquilo. Para Ostermann e Moreira (2000a), os alunos veem esses temas na televisão, mas não os veem nas salas de aula.

Há necessidade urgente de atualização dos conteúdos de Física que são abordados em sala de aula, de modo que esse possa satisfazer os anseios da sociedade; a reformulação do currículo de Física já foi regulamentada pelo Estado através dos PCN e PCN+, estes já ilustram a necessidade de inserir a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Um dos problemas listados pelos professores de Física é a pouca quantidade de materiais didáticos atualizados, ou seja, livros e experimentos, que possam auxiliá-los em suas aulas de Física Moderna.

Tendo em vista essa realidade vivenciada na Educação Básica, este trabalho visa à elaboração de uma atividade experimental e uma lúdica como recursos didáticos que possam auxiliar os professores no ensino do efeito fotoelétrico, um conteúdo da Física Moderna e Contemporânea aplicado aos Níveis Fundamental e Médio, podendo até mesmo ser utilizado no Ensino Superior. O apêndice traz ainda uma sugestão de plano de aula com o uso da atividade experimental.

## **2. A Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos Ensinos Fundamental e Médio.**

### **2.1. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM)**

Segundo o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) são a referência básica para a elaboração das matrizes de referência. Os PCNs foram elaborados para espalhar os princípios da reforma curricular e direcionar os professores na procura de novas metodologias e abordagens. São traçados novos perfis para os currículos, apoiado em competências básicas para a inserção dos discentes na vida adulta; orientam os docentes quanto ao significado do conhecimento escolar contextualizado e à interdisciplinaridade, incentivando o raciocínio e a capacidade de aprender.

Segundo o parâmetro curricular nacional (PCN):

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional (BRASIL, 2000, p. 22).

Observa-se então que o próprio Estado já inseriu no currículo de Física a necessidade de reprodução em sala de aula do que está sendo vivido na sociedade, além de explicitar a necessidade de ilustração do processo histórico de evolução da Física.

A inserção dos conteúdos referentes à Física Moderna e Contemporânea tem se mostrado uma necessidade, pois, como já foi citado anteriormente fica evidente a existência de um desequilíbrio entre o que é visto em sala de aula e os avanços tecnológicos, corroborando essa opinião, observa-se o que as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) traz:

O cotidiano contemporâneo depende, cada vez mais intensamente, de tecnologias baseadas na utilização de radiações e nos avanços na área da microtecnologia. Introduzir esses assuntos no Ensino Médio significa promover

nos jovens competências para, por exemplo, ter condições de avaliar riscos e benefícios que decorrem da utilização de diferentes radiações, compreender os recursos de diagnóstico médico (radiografias, tomografias etc.), acompanhar a discussão sobre os problemas relacionados à utilização da energia nuclear ou compreender a importância dos novos materiais e processos utilizados para o desenvolvimento da informática (BRASIL, 2002, p.77).

Com relação ao efeito fotoelétrico, observa-se que muitos fatos cotidianos ocorrem graças a esse fenômeno, e que a compreensão pode ajudar os alunos a compreenderem o que ocorre à sua volta, dando significado ao que foi visto em sala de aula.

Segundo o PCN+ o aluno deve ser capaz de “Compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias” (BRASIL, 2002, p.78).

## **2.2. Os conteúdos da FMC no Ensino Básico**

A importância da atualização dos conteúdos de Física é defendida por alguns pesquisadores, pois, “O ensino de temas atuais de Física pode contribuir para transmitir aos alunos uma visão mais correta dessa ciência e da natureza do trabalho científico...” (OSTERMANN e MOREIRA, 2000b, p. 392, tradução nossa).

Alguns professores sugerem que não ensinam Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio porque ela é muito complicada, e possui uma matemática a qual os alunos não compreenderam. Tal fato é uma visão pessimista dos professores, pois, observa-se que a Mecânica Clássica também possui suas dificuldades, como corrobora Ostermann e Moreira (2000b, p. 392) afirmando: “a Física Moderna e Contemporânea é considerada difícil e abstrata, contudo, as investigações em ensino têm mostrado que a Física Clássica também é difícil e abstrata para os alunos que apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la”.

É possível, então, perceber que ainda predomina, na literatura, a simples apresentação de tópicos de FMC. No entanto, questões de ensino vêm sendo incorporadas aos trabalhos e, talvez, seja uma tendência em crescimento. A abordagem de temas atuais de Física em revistas dirigidas a professores é, sem dúvida, uma contribuição importante para a atualização curricular. Mas, além disso, é preciso investir na possibilidade de introduzir alguns desses tópicos no Ensino Médio, verificando resultados de

aprendizagem em condições reais de sala de aula. (OSTERMANN E MOREIRA 2001, p. 136)

Ostermann e Moreira (2001 apud PEREIRA; AGUIAR, 2006, p. 70-71) destacam algumas justificativas importantes para inserção da FMC na educação básica, como as necessidades:

- i. de os estudantes terem contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física;
- ii. de reformulação do currículo de Física do Ensino Médio, conforme os PCN's;
- iii. de atrair jovens para a carreira científica;
- iv. de disseminar os conhecimentos que a ciência e tecnologia propiciam à população;
- v. de esclarecer o estudante quanto às pseudo-ciências.

Ostermann e Moreira (1998) elencaram através de uma pesquisa utilizando a técnica DELPHI os conteúdos de Física Moderna e Contemporânea mais importantes para o Ensino Médio, são eles:

- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Efeito fotoelétrico      | 10. Metais e isolantes     |
| 2. Átomo de Bohr            | 11. Semicondutores         |
| 3. Leis de conservação      | 12. Lasers                 |
| 4. Radioatividade           | 13. Supercondutores        |
| 5. Forças fundamentais      | 14. Partículas elementares |
| 6. Dualidade onda-partícula | 15. Relatividade especial  |
| 7. Fissão e fusão nuclear   | 16. Big Bang               |
| 8. Origem do universo       | 17. Estrutura molecular    |
| 9. Raios-x                  | 18. Fibras ópticas         |

Esses conteúdos foram destacados por um grupo formado por 54 físicos, 22 investigadores em ensino de Física e 22 professores de Física.

O método basicamente consiste na organização de um grupo de especialistas na temática que são consultados sobre uma série de questionamentos, os quais são respondidos de modo intuitivo. Os resultados dessa primeira fase são analisados, calculando-se a mediana e a amplitude interquartilica. A síntese dos resultados é apresentada a cada um dos participantes que respondem novamente, caracterizando a ênfase interativa do método, também chamada de convergência de opiniões. Essas interações se

repetem até que um consenso ou quase consenso seja obtido (ADLER; ZIGLIO, 1996).

Com relação à maneira como o método foi aplicado na situação específica dos conteúdos de FMC citam Ostermann e Moreira (2001, p. 138):

Neste estudo Delphi, o levantamento completo envolveu três rodadas (Ostermann e Moreira, 1998). Na primeira rodada, os respondentes foram apenas solicitados a sugerir tópicos de Física Contemporânea que em sua opinião deveriam ser contemplados em uma atualização do currículo de Física nesse nível de ensino. Na segunda rodada, os participantes foram solicitados a posicionarem-se frente aos tópicos sugeridos na primeira. Na terceira rodada, houve possibilidade de revisar posições e atribuir grau de prioridade aos temas. Ao final, foi obtida uma lista dos tópicos mais indicados.

Realizando-se ainda uma análise da listagem de conteúdos verifica-se que não constitui, a princípio, um corpo orgânico ou um programa, possui uma natureza conceitual diferenciada e nem estabelece o que se pretende com a inserção de FMC no Ensino Básico; os temas propostos podem ser enfocados com diferentes objetivos e com variados graus de profundidades (JUNIOR; CRUZ, 2003).

A introdução de FMC no Ensino Médio pode ser organizada por meio de inserções pontuais, técnica que pode atuar como elemento facilitador, minimizando os debates sobre as questões curriculares. Uma metodologia sugerida é o tratamento de tópicos escolhidos e que podem se assemelhar ao que usualmente é utilizado nos cursos de Estrutura da Matéria e Física Moderna no Ensino Superior (ARONS, 1990 *apud* JUNIOR; CRUZ, 2003).

Ostermann e Moreira (2001, p.145-147) em estudo sobre a introdução tópicos de FMC, para alunos do Ensino Médio em escolas públicas e particulares chegaram as seguintes conclusões:

É viável ensinar Física Contemporânea no Ensino Médio, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos. Nesse sentido, obtivemos resultados promissores. Analogias são importantes, vínculos com conteúdos já existentes no currículo são convenientes e avanços em pontos mais modernos são possíveis se a ênfase dada for no aspecto mais conceitual da Física. Sem dúvida, foi possível verificar-se, na prática, muito do que fala a literatura: tópicos de FMC despertam a curiosidade científica dos alunos, os motivam para aprender Física.

É viável implementar tópicos de Física Moderna e Contemporânea em escolas de Nível Médio. Os alunos podem aprendê-los, quer

dizer, não encontramos obstáculos de natureza cognitiva e os de pré-requisitos foram superados;

Se houve dificuldades de aprendizagem não foram muito diferentes das usualmente enfrentadas com conteúdos da Física Clássica. É claro que, muitas vezes, nem todos os pré-requisitos estão presentes. Com isso, deve-se buscar supri-los de alguma forma. A inserção de tópicos tão atuais nas escolas com material previamente preparado pode resgatar, em certo sentido, a auto-estima de muitos alunos nas escolas onde, sem dúvida, a Física já perdeu muito de seu encanto;

Os resultados apontam para a asserção de que deveria haver mais Física Contemporânea no Ensino Médio e menos fósseis da Física Clássica. Os alunos podem aprendê-la se os professores estiverem adequadamente preparados e se bons materiais didáticos estiverem disponíveis. Com isso, os jovens podem ter uma escolarização de Nível Médio em Física atualizada e mais coerente com um pleno exercício da cidadania na sociedade contemporânea.

Entende-se, portanto, que os conteúdos de FMC podem ser ministrados com eficiência, havendo uma preparação adequada do professor, em utilizar uma metodologia que saia do campo de conceitos abstratos e incompreensíveis, para o campo da aplicação prática destes conceitos, ou seja, da utilização cotidiana que os alunos fazem deles. Tal prática poderá despertar no discente o interesse pela Física, conscientizando-se de que a mesma permite o funcionamento de tecnologias tão comumente usadas pela sociedade em que está inserido e, que o possibilitará a entender mais de perto a evolução científica de “seu tempo”.

### **2.3. Sobre as atividades experimentais e lúdicas para o ensino**

Pode-se verificar amplamente o desenvolvimento de teorias e pesquisas na área de ensino e aprendizagem, dentre elas, foram fortemente motivadoras para o desenvolvimento das ideias neste projeto as teorias da aprendizagem significativa de David P. Ausubel, da aprendizagem de Jean Piaget, da educação progressiva de John Dewey, dos modelos mentais de Johnson-Laird e da aprendizagem significativa crítica de Marco A. Moreira.

Partiu-se da filosofia de que o uso de experimentos simples de Física pode atuar como fator de motivação e construção de uma aprendizagem significativa por parte dos alunos; corrobora também com este pensamento Giordan (1999, p. 43) quando afirma que:

É de conhecimento dos professores de ciências o fato de a experimentação despertar um forte interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos. Por outro lado, não é incomum ouvir de professores a afirmativa de que a experimentação aumenta a capacidade de aprendizagem, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas em pauta.

Falando ainda sobre a importância da experimentação no ensino de Física, inclusive o fator motivacional, diz Axt *et al.* (1990, p. 142) que “a experimentação possui um potencial heurístico, desafiador, motivador, elucidador muito pouco explorado em nosso meio, particularmente no que se refere à aprendizagem de conceitos e à reformulação conceitual.”

Para este trabalho tiveram-se como princípios norteadores os seguintes pontos: (i) O uso de experimentos simples de Física transforma o conhecimento abstrato em realidade prática; (ii) A percepção da Física aplicada à realidade diária desperta, no aluno, o interesse pela disciplina motivando a aprendizagem; (iii) A participação dos alunos no desenvolvimento e análise das experiências práticas e atividades lúdicas de Física contribui para formação de modelos mentais funcionais e conseqüentemente a construção de uma aprendizagem significativa.

Tais princípios surgiram de toda a experiência com o ensino-aprendizagem adquirida, por este autor, por meio da vivência como aluno dos Ensinos Básico e Superior, dos conhecimentos específicos adquiridos ao longo da formação neste curso de Física-Licenciatura, bem como de trabalhos já desenvolvidos nesta linha de pesquisa, com destaque para o intitulado: “Desenvolvendo um Jogo de Cabo de Guerra “viciado” para o Ensino de Física”.

Esse citado trabalho foi apresentado, em 2015, no I Encontro Regional de Aprendizagem Significativa – I ERAS Nordeste, onde foi desenvolvida e aplicada, para alunos dos Ensinos Fundamental e Médio, uma atividade experimental-lúdica que consistia em um sistema de multiplicação de forças com cabo e polias sendo utilizado em jogo de cabo de guerra, visando o ensino de mecânica newtoniana. Antes da realização da atividade, foram realizadas entrevistas gravadas com alguns alunos sobre a visão que tinham da Física, como resultado, verificou-se a existência de três tipos de grupos de alunos: (i)

Os que acham que a Física é importante para sociedade e para si mesmo, mas que não sabem dizer para que serve a física; (II) Os que acham que a Física para eles só é útil para passar no vestibular e não tem utilidade para a sociedade, não sabendo para que ela serve; (iii) E os que acham que a Física não serve para nada. Posteriormente a aplicação da aula, onde houve uma boa aceitação e participação por parte dos alunos, foi então aplicado um questionário fechado sobre a motivação e importância no Ensino de Física para as turmas, onde os resultados evidenciados nos gráficos da figura 1 mostram que houve uma relativa mudança na atitude dos alunos com relação à Física, da que foi verificada nas entrevistas.

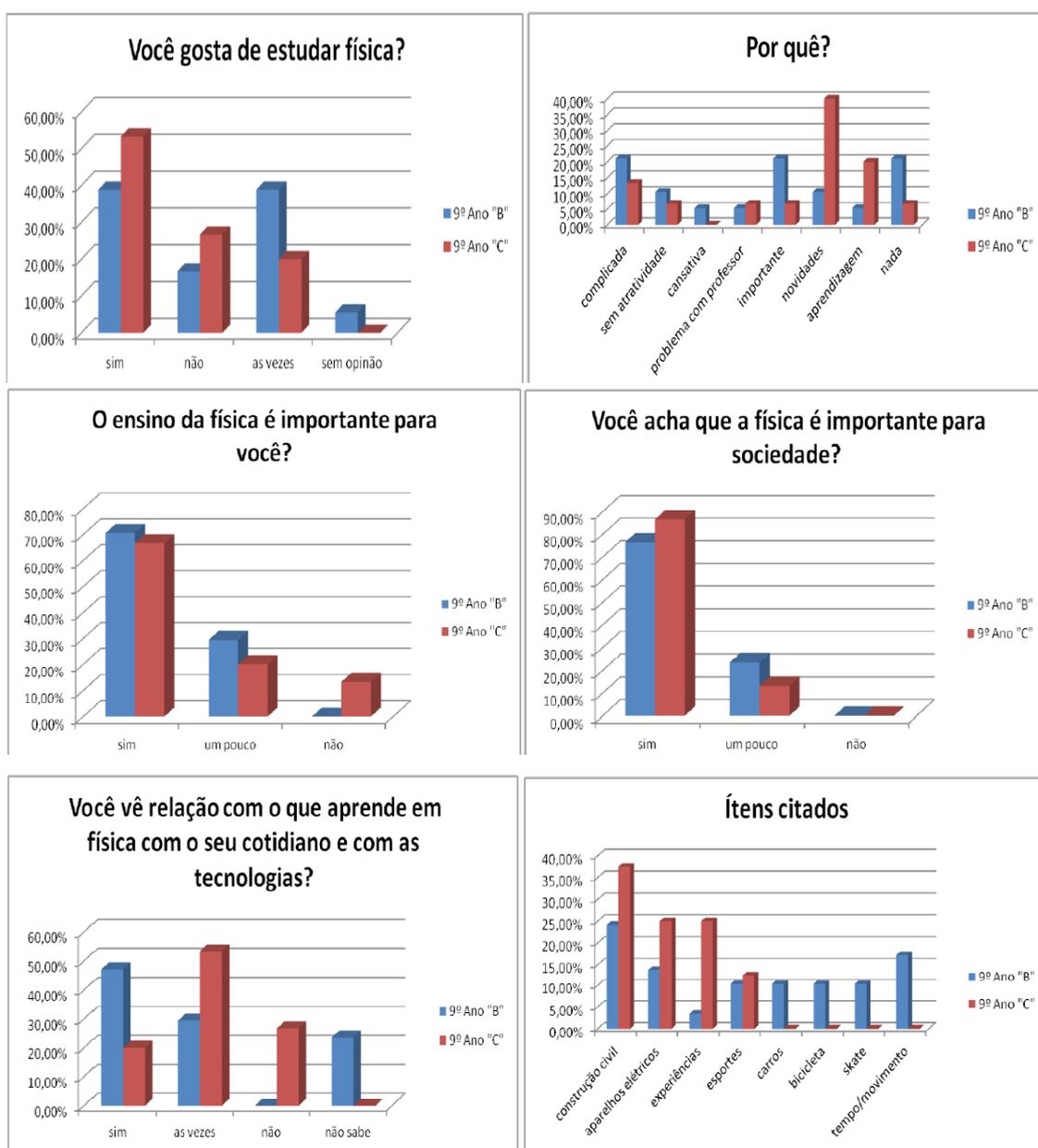


Figura 1: Gráficos 1 a 6 com perguntas e resultados do questionário aplicado.

Segundo Ausubel *et al.*(1980) a Aprendizagem Significativa, como o próprio nome já declara, tem sua essência em algo que já faz parte do conhecimento do aluno, ou seja que faz sentido para ele; possibilitando que as ideias simbolicamente expostas pelo professor encontrem na estrutura cognitiva dos mesmos uma relação com imagens, símbolos, conceitos ou proposições, tornando a relação ensino-aprendizagem aceitável às necessidades reais do aluno. Ressalta ainda outro elemento fundamental para que a aprendizagem seja significativa: o aluno precisa ter disposição para aprender significativamente, pois se esta disposição não existir, a aprendizagem sempre será mecânica e despida de praticidade.

Tal afirmação também é endossada por Pozo (2002a) ao salientar que compreender exige esforço e, que o aluno precisa ter um motivo para esforçar-se, ou seja, tal atitude deve ser gerada por algo que faça sentido para ele, o qual tenha aplicabilidade ao que é real para o aluno; aqui está o grande problema para aprendizagem significativa: alguns conteúdos ensinados estão descontextualizados da realidade dos alunos, que não conseguem estabelecer uma relação prática entre símbolos e conceitos. Fica claro, que se os conteúdos e os materiais apresentados não forem associados à realidade do aluno, dificilmente haverá aprendizagem significativa.

De acordo com Demo (1993, p. 153):

(...) ensinar já não significa transferir pacotes sucateados, nem mesmo significa meramente repassar o saber. Seu conteúdo correto é motivar o processo emancipatório com base em saber crítico, criativo, atualizado, competente. Trata-se, não de cercear, temer, controlar a competência de quem aprende, mas de abrir a chance na dimensão maior possível.

Segundo Axt e Moreira (1991) é o livro texto, no cotidiano escolar, que tem determinado as metodologias de ensino e a sequência do conteúdo, não havendo o espaço para a influência do ensino experimental nessa questão. Ainda conforme os citados pesquisadores, o maior problema, é que na grande maioria, esses livros são de baixa qualidade, havendo a necessidade de uma quebra com o convencional, trazendo-se a inserção de novas propostas que integrem a experimentação ao conteúdo e se adequem ao desenvolvimento psicopedagógico dos estudantes, modificando assim essa cultura brasileira de não se fazer uso de experimentos para o ensino.

Pereira (2000, p. 47) afirma que:

(...) parece ser o papel do professor bem mais complexo do que a simples tarefa de transmitir o conhecimento já produzido. O professor,

durante sua formação inicial ou continuada, precisa compreender o próprio processo de construção e produção de conhecimento escolar, entender as diferenças e semelhanças do processo de produção do saber científico e do saber escolar, conhecer as características da cultura escolar, saber a história da ciência e a história do ensino da ciência com que trabalha e em que pontos elas se relacionam.

Ainda segundo Pozo (2002b, p.42):

É necessário que sejam criadas expectativas com relação à aprendizagem, para que os alunos se sintam motivados, pois a motivação não depende somente de motivos individuais, mas do sucesso esperado para alcançá-los, e para isso, os professores precisam vencer o cansaço, criar certezas para levar aos alunos a assuntos relacionados aos estudos tornando-os motivados.

Axt *et al.* (1990, p. 142) fala ainda sobre as possibilidades e benefícios do uso da experimentação como uma ferramenta de ensino:

A experimentação pode ser utilizada para colocar o aluno diante de situações concretas e de evidências que ativem seu pensamento e o tornem consciente da eventual existência de uma discrepância entre a sua maneira de pensar e aquilo que a evidência está a indicar ou, ainda, o façam verbalizar ideias nas quais o professor identificará um conflito do qual o aluno não toma consciência.

Tratando-se ainda sobre a utilização de experimentos, com uso da construção de maquetes que simulem determinadas situações modelos, tem-se a contribuição de Charles Maguerez que apresenta o Esquema do arco, modelo pedagógico através do qual se faz uma abordagem de ensino baseada na apresentação de um problema, que faça parte da realidade Física ou social, fase esta conhecida como “observação da realidade”, aqui os alunos entram em contato visual e, ou material do problema. A segunda fase é chamada “construção de uma maquete”, onde os alunos passam a identificar os pontos-chave do problema, que se eliminados ou modificados, poderiam trazer soluções ao problema estudado, consiste basicamente na construção de um modelo simplificado ou uma maquete. Na terceira fase do arco onde acontece a “análise” ou “discussão da maquete”, é feita a teorização, análise do assunto. Os alunos são orientados a encontrar através de pesquisa científica, informações sobre o problema de forma geral, buscando encontrar subsídios para a próxima etapa do arco que é a de “hipóteses de solução”; nesta fase os alunos trabalharão, à partir da pesquisa realizada, os pontos vulneráveis detectados e mostrados na maquete. Finalmente os alunos aplicam os

conhecimentos obtidos à realidade, fazem-se exercícios de fixação e generalização a outras soluções, aqui acontece a síntese do “esquema do arco”, que pode ser visualizado na figura 2. (MAGUEREZ, 1966 *apud* BORDENAVE; PEREIRA, 1982).

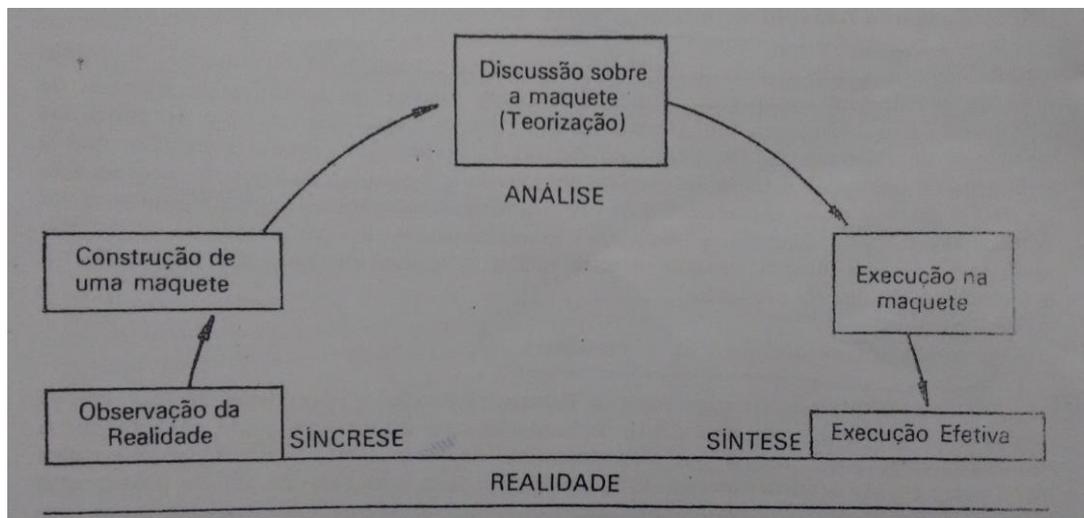


Figura 2: O esquema do arco, segundo Charles Magueres.

Fonte: BORDENAVE, J. D.; PEREIRA, A. M. Estratégias de ensino aprendizagem. 29. ed. Petrópolis: Vozes, 1982, p. 49.

Analisando ainda a importância dos jogos como atividade lúdica para o processo de ensino-aprendizagem, existe a defesa do uso desse tipo de dinâmica como instrumento pedagógico fundamental na educação escolar, como afirma Teixeira (1995, p.23):

O lúdico apresenta dois elementos que o caracterizam: o prazer e o esforço espontâneo. Ele é considerado prazeroso, devido a sua capacidade de absorver o indivíduo de forma intensa e total, criando um clima de entusiasmo. É este aspecto de envolvimento emocional que o torna uma atividade com forte teor motivacional, capaz de gerar um estado de vibração e euforia. Em virtude desta atmosfera de prazer dentro da qual se desenrola, a ludicidade é portadora de um interesse intrínseco, canalizando as energias no sentido de um esforço total para consecução de seu objetivo. Portanto, as atividades lúdicas são excitantes, mas também requerem um esforço voluntário. (...) As situações lúdicas mobilizam esquemas mentais. Sendo uma atividade Física e mental, a ludicidade aciona e ativa as funções psico-neurológicas e as operações mentais, estimulando o pensamento. (...) As atividades lúdicas integram as várias dimensões da personalidade: afetiva, motora e cognitiva.

Percebe-se que atividade lúdica desperta no educando uma gama de reações que mobilizam o físico, o intelectual, e o emocional, trazendo assim, uma motivação completa, que se reflete positivamente nos relacionamentos

interpessoais, criando novas esferas de contato, baseados na identificação de interesses e habilidades comuns.

Seguindo essa linha, o PCN já trazia também que:

As situações lúdicas, competitivas ou não, são contextos favoráveis de aprendizagem, pois permitem o exercício de uma ampla gama de movimentos que solicitam a atenção do aluno na tentativa de executá-los de forma satisfatória e adequada. Elas incluem, simultaneamente, a possibilidade de repetição para manutenção e por prazer funcional e a oportunidade de ter diferentes problemas a resolver. Além disso, pelo fato de o jogo constituir um momento de interação social bastante significativo, as questões de sociabilidade constituem motivação suficiente para que o interesse pela atividade seja mantido. (PCNs/ MEC, BRASIL, 1997, p 28 e 29, vol 7).

É citado por Mauricio (2007. p.3):

O jogo é, por excelência, integrador, há sempre um caráter de novidade, o que é fundamental para despertar o interesse da criança, e à medida em que joga ela vai conhecendo melhor, construindo interiormente o seu mundo. Esta atividade é um dos meios propícios à construção do conhecimento.

A ludicidade no ensino torna possível a materialização de conteúdos abstratos, os que eram apenas letras e palavras tomam vida, tornam-se reais, palpáveis, transformando o ambiente de aprendizagem em algo que faz sentido, algo que existe na vida do aluno e ele nem percebia. Aqui nasce o desejo de descobrir mais sobre a ciência contida no cotidiano de cada um.

Ainda cita Aguiar (1998, p.36):

A atividade lúdica é reconhecida como meio de fornecer à criança um ambiente agradável, motivador, planejado e enriquecido, que possibilita a aprendizagem de várias habilidades, além de trabalhar estas habilidades na criança, ajudará no desenvolvimento da criatividade, na inteligência verbal-linguística, coordenação motora, dentre outras. Partindo da consideração de que as atividades lúdicas podem contribuir para o desenvolvimento intelectual da criança, Platão ensinava matemática às crianças em forma de jogo e preconizava que os primeiros anos da criança deveriam ser ocupados por jogos educativos.

Afirma Tezani (2011, p. 11):

Assim, ao relatar sobre aprendizagem, desenvolvimento, processos de interação e educação escolar não se pode deixar de abordar sobre a vontade de aprender, o desejo de buscar e realizar a construção do conhecimento, o que se acredita poder ser resgatado através dos jogos em sua dimensão afetiva.

Necessita-se ressaltar que as atividades lúdicas, devem ser bem elaboradas, concentradas no conteúdo que se pretende ensinar, pois o objetivo da aplicação dos jogos vai além de apresentar um passatempo aos alunos,

tornando-se um instrumento facilitador da aprendizagem prática de conteúdos, que de outra forma são abstratos demais para despertar um real interesse nos alunos.

É destaque ainda outra citação de Teixeira (1995, p.49):

O jogo é um fator didático altamente importante; mais do que um passatempo, ele é elemento indispensável para o processo de ensino-aprendizagem. Educação pelo jogo deve, portanto, ser a preocupação básica de todos os professores que têm intenção de motivar seus alunos ao aprendizado.

Outro elemento é enfatizado por Novak (1981) é a necessidade de aprender interagindo seja com colegas, professores, através de livros, computadores, trocando significados com alguém, dividindo conhecimento e multiplicando ideias. Por isso as atividades de ensino devem proporcionar cooperação entre universos mentais através da troca de significados que, bem dirigidos pelo docente, contribuirão positivamente para a aprendizagem significativa do conteúdo apresentado. Podendo se perceber, diante de todo o exposto, que as atividades experimentais e lúdicas podem atuar como importantes ferramentas para as atividades de ensino, inclusive de FMC para os Níveis Médio e Fundamental.

### **3. A Quantização da Energia e o Efeito Fotoelétrico**

#### **3.1. Um breve histórico sobre a Física no final do século XIX**

A ciência fervia durante os períodos finais do século XIX, acreditava-se que a Mecânica Newtoniana, o Eletromagnetismo de Maxwell e a Termodinâmica conseguiam explicar todos os fenômenos estudados até então. Com tudo com aperfeiçoamento dos aparatos experimentais, surgiam novos resultados e conseqüentemente novas explicações e teorias. Produção de raios X, descargas elétricas em gases, o resultado do experimento de Michelson e Morley, radiação de corpo negro, efeito fotoelétrico, entre outras; em todas essas discussões científicas, os resultados experimentais eram completamente injustificáveis com as teorias existentes.

Algumas lendas urbanas atribuem ao Lorde Kelvin, um dos mais importantes físicos do século XIX, a citação de que “existem apenas duas nuvenzinhas no céu da Física”, associando assim ao citado físico uma imagem cética de achar que a Física estava completa, não havendo mais nada a ser descoberto, sendo também atribuída a ele a citação de que “Não existe nada de novo para ser descoberto em Física agora, tudo o que resta são experimentos mais e mais precisos” (SCHULZ, 2007). Ao Lorde Kelvin são atribuídas ainda outras citações, algumas verdadeiras e outras inautênticas, frases estas que ilustram um sentimento de completude, que volta e meia ressurge na comunidade científica, ao longo da história, e principalmente nas salas de aula do Ensino Básico, pois por várias vezes é assim que a Física é mostrada para os alunos, quando deveria sim ser mostrada como a verdadeira ciência que é e esta em constante evolução. A charge a seguir, figura 3, ilustra um pouco qual era o sentimento de alguns físicos a época e dessas lendas da história: onde o físico Max Planck, teria sido aconselhado por um de seus mestres a desistir de seus estudos científicos e escolher a carreira de pianista, uma vez que o “edifício” da Física já estaria praticamente completo, só faltando apenas dois “pequenos tijolos”.

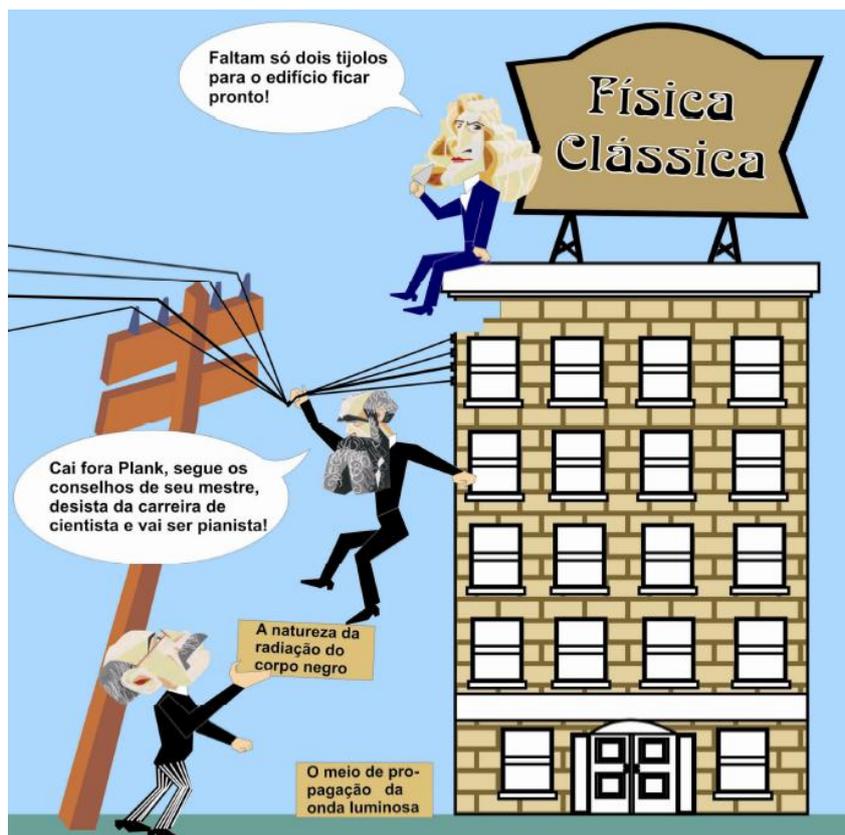


Figura 3: Charge sobre o Edifício da Física Clássica.

Fonte: WEBBER, M. C. M.; RICCI, T. F.; Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores. UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre: 2007, p. 9.

Entretanto ao se buscar fontes verídicas para a citação de Lorde Kelvin sobre as duas nuvens da Física, encontra-se o que realmente foi dito no artigo publicado em 1901, intitulado “Nuvens do século dezenove sobre a teoria dinâmica do calor e da luz” (KELVIN, 1901 *apud* SCHULZ, 2007, p. 510):

A beleza e clareza da teoria dinâmica, que coloca calor e luz como modos de movimento, está presentemente obscurecida por duas nuvens. I. A primeira apareceu com a teoria ondulatória da luz, desenvolvida por Fresnel e o Dr. Thomas Young; envolvendo a questão de como pode a Terra mover-se através de um sólido elástico, como o é essencialmente o éter luminífero. II. A segunda é a doutrina de Maxwell-Boltzmann sobre a equipartição de energia.

Lorde Kelvin se referia ao resultado negativo da experiência de Michelson e Morley<sup>1</sup> e ao chamado problema da radiação do corpo negro. As “duas nuvens” são as bases que deram início a Teoria da Relatividade e a

<sup>1</sup> O experimento de Michelson e Morley tinha como objetivo detectar a existência do Éter Luminífero, que seria o meio material no qual a luz se propagaria com velocidade  $c = 3 \times 10^8$  m/s (metros por segundo).

Mecânica Quântica, as colunas da Física Moderna. Diferente do que é propagado por muitos, Lord Kelvin mostrou estar bem ciente do impasse da Física Clássica na época e indicou para os seus sucessores claramente que rumos deveriam ser seguidos.

### **3.2. Uma revisão sobre a Radiação de Corpo Negro e a Hipótese de Planck**

Como visto no item anterior a questão da radiação do corpo negro motivou novos estudos que deram origem a Mecânica Quântica, arbitrariamente, pode-se situar o nascimento da Física Quântica em 14 de dezembro de 1900, quando o físico Max Planck apresentou o artigo “sobre a teoria da lei de distribuição de energia do espectro normal”, que se constituiu num verdadeiro marco de uma revolução na Física (WEBBER; RICCI, 2007).

A radiação emitida por um corpo devido à própria temperatura é chamada radiação térmica. Tal fenômeno pode ser observado através de um forno com o interior em equilíbrio térmico a uma determinada temperatura, fazendo-se um pequeno orifício em uma das paredes, por onde escapará o feixe de radiação. Conhecer o espectro de emissão de um objeto macroscópico qualquer é, basicamente, saber quanta energia radiante é emitida pelo objeto em cada faixa de comprimento de onda ou de frequência. Já se sabia à época que como aumento gradual de temperatura um corpo irradia luz vermelha, depois amarela e vai se tornando branca tendendo para o azulado. A partir de análises do espectro das radiações em função da temperatura verificou-se que para todos os materiais, a intensidade da radiação depende apenas de dois fatores: a frequência ( $f$ ) e a temperatura absoluta ( $T$ ).

Para simplificar os estudos acerca dessa temática foi criado o conceito de corpo negro, um objeto que tem poder de absorção máximo, não refletindo nem luz nem calor, um corpo cuja superfície absorve toda a radiação térmica que incide sobre ele e emite, na forma de radiação eletromagnética, toda energia fornecida a ele, apresentando um poder de absorção igual ao poder de emissão. A figura 4 ilustra o espectro de emissão de um corpo negro.

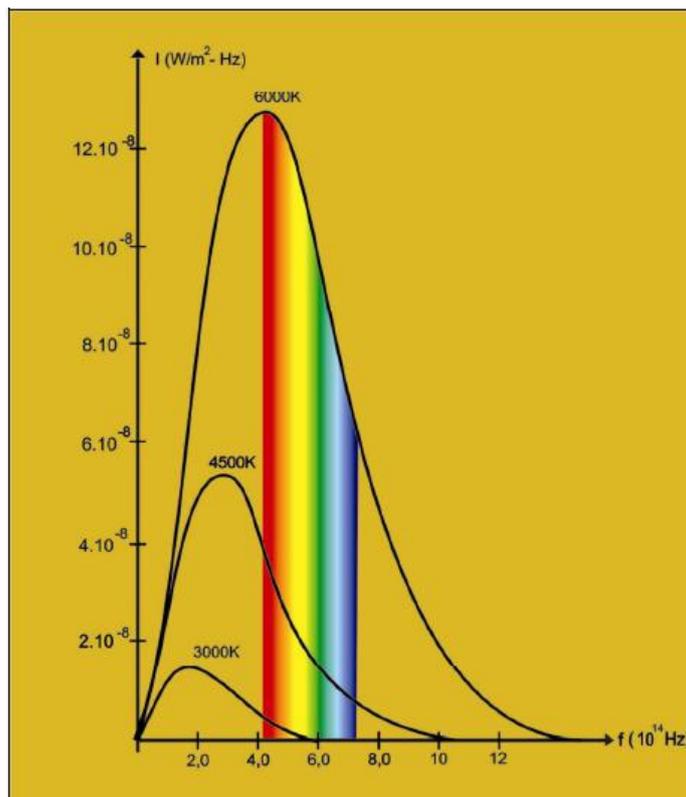


Figura 4: Espectro de emissão de um corpo negro (experimental).

Fonte: WEBBER, M. C. M.; RICCI, T. F.; Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores. UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre: 2007, p. 10.

O espectro emitido pelo orifício na cavidade pode ser especificado em termos de uma densidade de energia ( $\rho(f)$ ), definida como a energia contida em um volume unitário da cavidade à temperatura  $T$ , no intervalo de frequência compreendido entre  $f$  e  $df$ .

No final do século XIX, os físicos experimentais já conseguiam realizar medidas muito precisas do espectro de emissão de um corpo negro, com base nas quais eles obtiveram empiricamente a curva do espectro de radiação do corpo negro com grande precisão. Entretanto, faltava ainda, deduzir essa curva teoricamente, a partir das leis mais fundamentais da Física. (WEBBER; RICCI, 2007, p. 9-10).

A dificuldade da obtenção de uma descrição matemática para este fenômeno apresentava sérias divergências quando comparado aos dados experimentais, para altas frequências (pequenos comprimentos de onda), o “melhor” modelo teórico à época, proposto por Rayleigh e Jeans, “explodia” para esses valores de frequência, sendo tal fato conhecido como a “catástrofe ultravioleta”, como se pode ver no gráfico da figura 5.

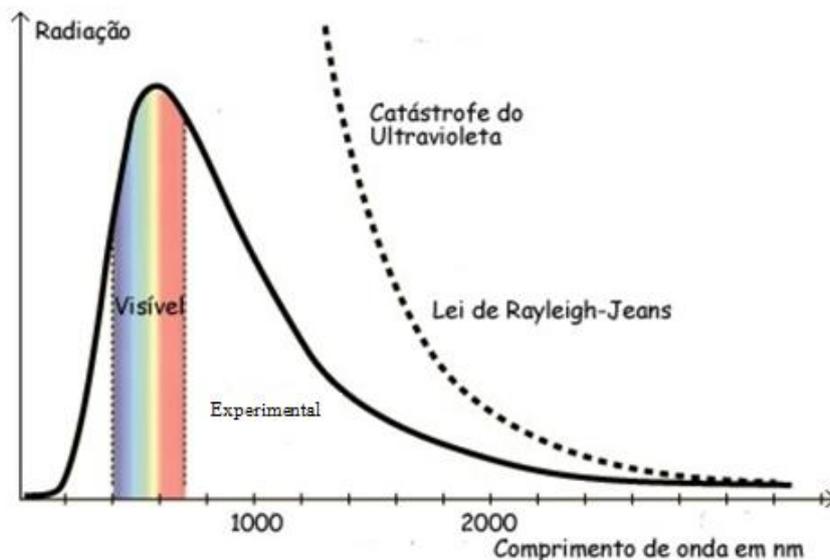


Figura 5: Catástrofe Ultravioleta.

Fonte: [http://ief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25\\_Alvarenga/corpo\\_negro.htm](http://ief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvarenga/corpo_negro.htm) acessado em 10 de janeiro de 2016

A grande contribuição de Planck surgiu quando, de posse da função matemática que descrevia o comportamento experimental (via tentativa e erro), descobriu que poderia obter tal função mediante a modificação do cálculo da energia média. A ideia de Planck era que, tratando a energia como uma variável discreta (e não contínua - um dos pensamentos mais arraigados na Mecânica Clássica), ele poderia reescrever o cálculo da energia média por meio de uma soma e não de uma integral. Em outras palavras, para conseguir o acordo com as curvas obtidas experimentalmente, Planck postulou que as trocas de energia seriam “quantizadas”: um oscilador de frequência  $f$  só poderia emitir ou absorver energia em múltiplos inteiros de um “quantum de energia” (NUSSENZVEIG, 1988).

Planck propôs que a energia poderia assumir apenas valores discretos proporcionais à frequência, ou seja:

$$E = nhf$$

Onde  $n$  é um número inteiro ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), e com  $h$  uma constante, denominada de “constante de Planck” e igual a  $6,6261 \times 10^{-34}$  J.s (joule x segundo) ou  $4,136 \times 10^{-15}$  eV (eletrôn-volt). A figura 6 ilustra como essa

proposta, Lei de Planck, se aproxima da curva experimental para a radiação de corpo negro.

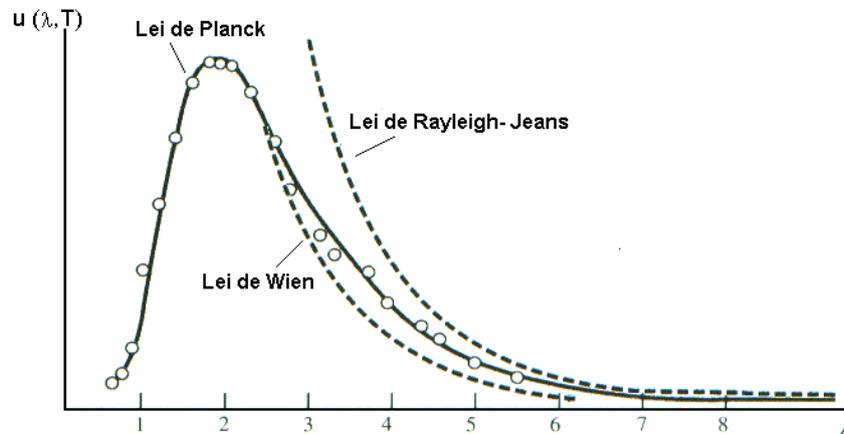


Figura 6: Lei de Planck comparada com a curva experimental.

Fonte: <http://ensinoadistancia.pro.br/EaD/QG/aula-3/aula-3.html> acessado em 10 de janeiro de 2016

Esse postulado da quantização é, porém, incompatível com a Física Clássica, onde a energia de uma onda não tem relação com a frequência, mas sim com a amplitude da oscilação e podendo variar continuamente. Planck tentou durante muito tempo encontrar explicação para o que propôs na Física Clássica, porém não obteve sucesso, passando a duvidar do que ele mesmo havia postulado.

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, 1988, p.247).

### 3.3. O Efeito Fotoelétrico

A descoberta do efeito fotoelétrico praticamente se deu por acaso quando o físico Heinrich Rudolf Hertz, em 1887, realizava experimentos para a detecção experimental das ondas eletromagnéticas, buscando confirmações da ótica ondulatória clássica – O Eletromagnetismo de Maxwell. Enquanto estudava a produção de descargas elétricas entre duas superfícies metálicas em potenciais diferentes, foi observado que uma faísca proveniente de uma

placa gerava uma faísca secundária na outra. Diante da dificuldade de visualização da centelha, Hertz montou uma proteção sobre o aparato para evitar a dispersão da luz. Entretanto o que se verificou foi uma diminuição da faísca secundária, tendo em seguida constatado que o fenômeno tinha natureza eletrostática, pois independente do material que era feita a proteção, condutor ou isolante, não havia diferença no resultado. Após uma série de experimentos Hertz percebeu que a faísca no eletrodo era produzida com maior facilidade sempre que os mesmos estavam expostos à luz, confirmando a hipótese de que a luz poderia gerar faíscas.

Posteriormente, o efeito fotoelétrico passou a ser investigado de maneira mais detalhada e qualitativamente por vários cientistas, com o emprego de montagens experimentais especialmente projetadas para tal, numa experiência típica, os eletrodos ficam dentro de uma ampola de quartzo, transparente, estabelecendo-se entre eles uma diferença de potencial (V) e iluminando-se o catodo com luz de determinada frequência (f) e intensidade ( $I_0$ ), passando-se então a aferir a corrente elétrica (i) produzida com a utilização de um amperímetro (NUSSENZVEIG, 1988). A figura 7 ilustra o esquema dessa montagem experimental básica.

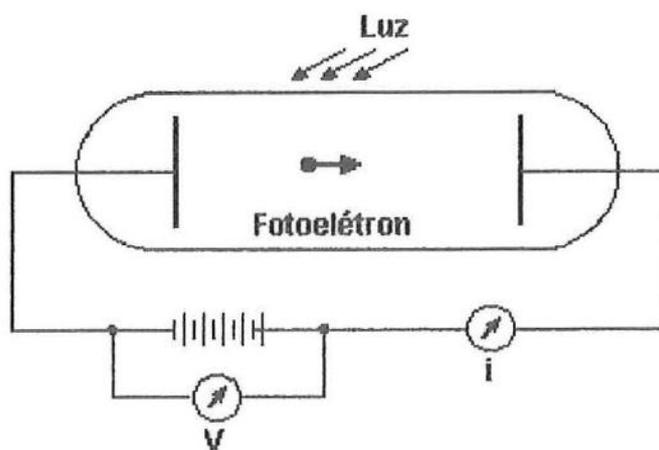


Figura 7: O efeito fotoelétrico e montagem experimental básica.

Fonte: NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica – vol. 4, 1<sup>o</sup> Ed., São Paulo: Blucher, 1988, p. 250.

Wilhelm Hallwachs, estimulado pelo trabalho de Hertz, em 1888 demonstrou que corpos metálicos irradiados com luz ultravioleta adquirem carga positiva. Por volta de 1900, Thomson confirmou que o efeito fotoelétrico consistia na emissão de elétrons (fotoelétrons), demonstrando

experimentalmente que a razão carga-massa dessas partículas emitidas no efeito fotoelétrico era a mesma que para os elétrons associados aos raios catódicos; ele também verificou que essa carga é da mesma ordem que a adquirida pelo átomo de hidrogênio na eletrólise de soluções. Em 1903, Lenard confirmou que a energia dos elétrons emitidos não apresentava dependência com intensidade da luz incidente no catodo. Schweidler, Em 1904, demonstrou que a energia do elétron ejetado era proporcional à frequência da luz incidente na superfície metálica (para um mesmo metal). A figura 8 ilustra a distribuições de frequências das ondas eletromagnéticas.

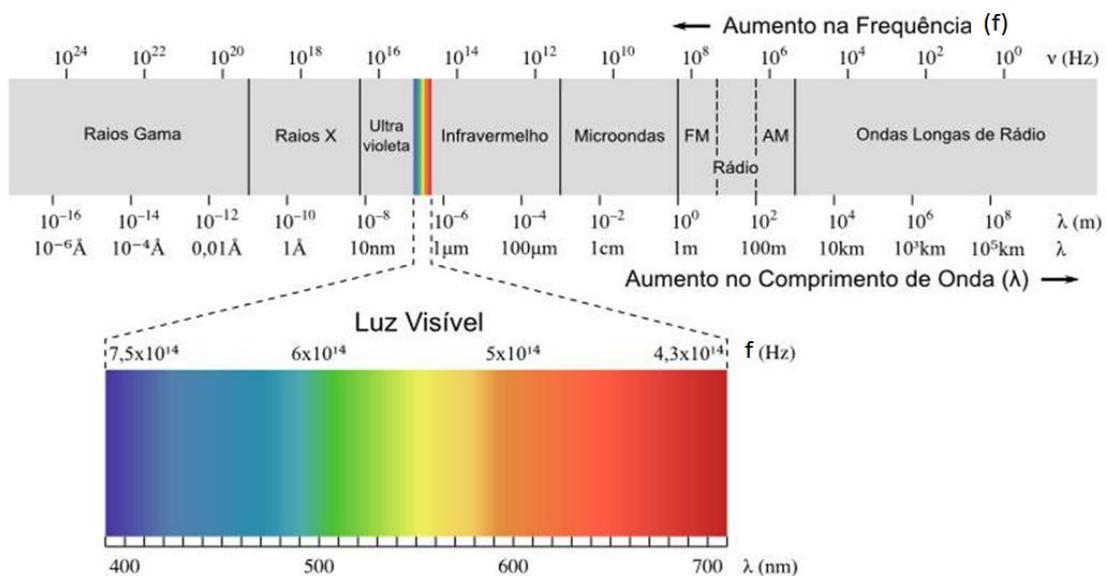


Figura 8: Distribuição da frequência (f) das ondas eletromagnéticas.

Fonte: <http://dan-scientia.blogspot.com.br/2010/03/relacao-da-frequencia-com-o-comprimento.html> acessado em 20 de janeiro de 2016

Segundo Ricci e Ostermann (2003) inicialmente, o efeito fotoelétrico não trazia surpresas com relação ao que já se possuía na Física Clássica, uma vez que era previsto o transporte de energia por ondas luminosas que poderia ser absorvida pelos elétrons da placa metálica, formando uma corrente elétrica, através da ejeção desses elétrons. Entretanto com os resultados e dados experimentais obtidos experimentalmente, pelos vários físicos, que se debruçaram nessa pesquisa (citados anteriormente), surgiram algumas constatações que contradiziam as afirmações dadas pela teoria clássica:

1. Verificou-se que praticamente não havia intervalo entre a incidência de luz no catodo e a detecção da corrente (ejeção de elétrons), o evento

praticamente instantâneo ( $10^{-9}$  s). Tal situação é incompatível com a teoria clássica, uma vez que a energia da onda luminosa teria que se distribuir entre uma grande quantidade de elétrons livres e átomos do metal, sendo dessa forma necessário um tempo considerável até que um elétron conseguisse absorver a energia necessária para ser ejetado, superando as barreiras eletrostáticas da superfície iluminada.

Por exemplo, cálculos estimativos realizados para uma placa de sódio sobre a qual incidia luz violeta com intensidade de  $10^{-6}$  Watt/m<sup>2</sup> indicavam que seria necessário esperar cerca de  $10^7$  s, quase um ano, para que um único elétron acumulasse a energia para escapar do metal. (RICCI; OSTERMANN, 2003, p.20)

2. Verificou-se que a energia cinética dos fotoelétrons independe da intensidade da luz incidente ( $I$ ). Tal constatação foi feita invertendo a polaridade da bateria no experimento básico, fazendo o anodo (placa coletora) passar a repelir os elétrons, assim apenas os fotoelétrons com maior energia cinética conseguiam alcançar a placa oposta e então produzir uma corrente. À medida que se aumenta esse potencial ( $V$ ) invertido a corrente ( $i$ ) diminui até que se anula em um determinado potencial, denominado potencial de freamento ( $V_F$ ), onde mesmo se aumentando a intensidade luminosa, mesmo assim não havia o aparecimento de corrente, o que confirma o fato de que a energia cinética dos elétrons não subia com o aumento da intensidade luminosa incidente. O citado arranjo experimental é ilustrado na figura 9.

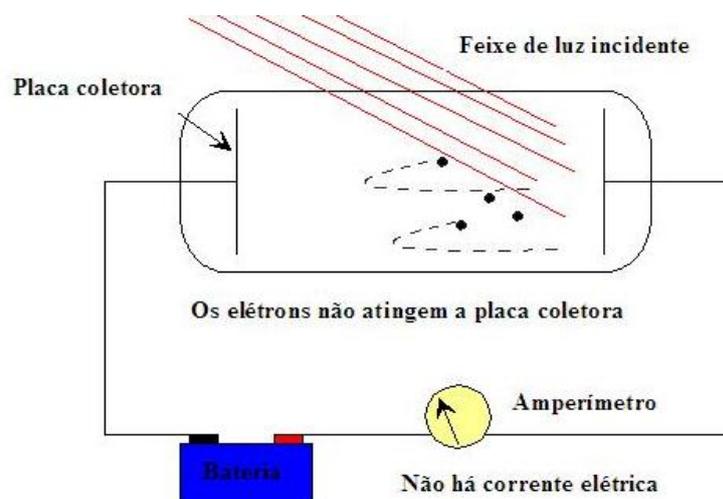


Figura 9: Arranjo experimental para determinação da energia cinética máxima dos elétrons.  
 Fonte: [http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod03/m\\_s03.html](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod03/m_s03.html) acessado em 12 de janeiro de 2016

Com relação a essa constatação e ao potencial de freamento cita ainda Ricci e Ostermann (2003, p. 20):

Mas o valor a ser ultrapassado independia da intensidade da luz, o que significava que a energia cinética máxima adquirida pelos fotoelétrons era independente da intensidade luminosa. Ora, se a energia cinética mínima adquirida pelos elétrons provém da onda eletromagnética, e se a energia que esta é capaz de comunicar depende da intensidade luminosa, então a energia cinética máxima dos elétrons deveria depender da intensidade luminosa!

Os resultados dessa experiência têm o aspecto ilustrado na figura 10, mostrando também que vencida a barreira do potencial de freamento, o aumento da intensidade luminosa provoca um aumento proporcional da intensidade da corrente.

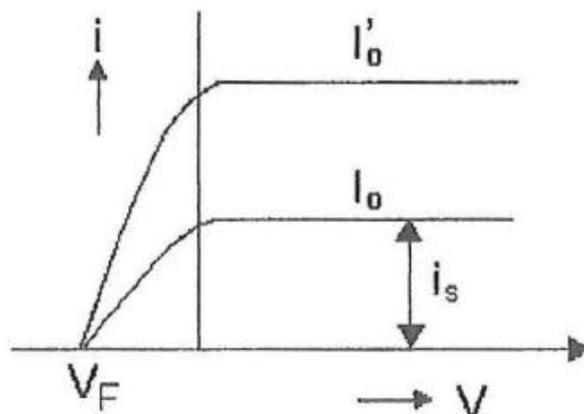


Figura 10: Corrente elétrica ( $i$ ) em função da diferença de potencial ( $V$ ) aplicada, com variações da intensidade luminosa ( $I$ ).

Fonte: NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica – vol. 4, 1º Ed., São Paulo: Blucher, 1988, p. 250.

3. Verificou-se que para cada metal há um valor para o potencial de freamento ( $V_F$ ), que independe da intensidade luminosa ( $I$ ), mas aumenta à medida que se aumenta a frequência ( $f$ ) da luz incidente. A figura 11 ilustra essa constatação, trazendo o gráfico do comportamento de um catodo de metal alcalino, onde o efeito fotoelétrico ocorre na faixa do espectro da luz visível, sendo necessário na maior parte dos metais utilizar-se o ultravioleta para que o fenômeno ocorra.

Verificou-se ainda que para cada metal existe um certo valor crítico de frequência luminosa (frequência de corte), abaixo do qual não há emissão de

elétrons. Desta feita percebe-se que o Potencial de freamento, para uma determinada frequência, bem como a frequência de corte variam de substancia para substancia, sendo uma característica de cada material.

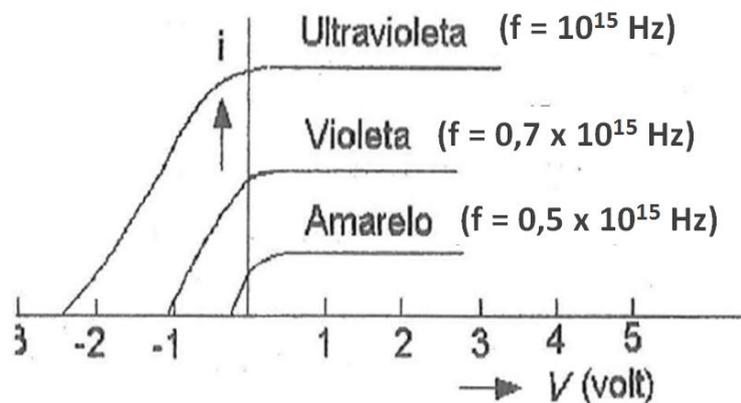


Figura 11: Dependência do potencial de freamento ( $V_F$ ) com frequência da luz incidente ( $f$ ).  
 Fonte: NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física básica – vol. 4, 1º Ed., São Paulo: Blucher, 1988, p. 250.

Diante de todas essas novas constatações pairava na mente dos físicos, a época, o seguinte questionamento: “Como explicar tudo isso se a energia cedida pela luz aos fotoelétrons, de acordo com o Eletromagnetismo de Maxwell, independia da frequência da luz?” (RICCI; OSTERMANN, 2003, p.20)

### 3.4. A contribuição de Einstein

Albert Einstein, em 1905, em um trabalho intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, propôs uma explicação para o efeito fotoelétrico que se baseava na hipótese de quantização proposta por Planck em 1900 (lei de Planck). Conforme Einstein, a luz (onda eletromagnética) é composta por quantas de energia:

$$E = hf$$

Onde  $h$  é a constante de Planck e  $f$  é a frequência da radiação.

A ideia simplificada “é que um quantum de luz passa toda a sua energia para um único elétron” (EINSTEIN, 1905 *apud* NUSSENZVEIG, 1988, p. 252). O quantum posteriormente passou a ser denominado fóton em um trabalho de G. N. Lewis de 1926. Através da hipótese de Einstein, as características do feito fotoelétrico, anteriormente citadas, que não tinham explicação pela Física Clássica, podiam ser agora elucidadas:

1. O quantum de luz cede totalmente a energia a um único elétron do metal, de maneira que o elétron não precisa de um intervalo de tempo longo para acumular continuamente a energia necessária para ser ejetada do material, pois obtém de uma só vez, quase instantaneamente, toda a energia do fóton.
2. De acordo com Nussenzveig (1988), os elétrons no material que compõe o catodo têm distribuições de energia e provêm de profundidades diferentes, logo os elétrons ejetados têm direções e energias cinéticas (velocidades) diferentes. A energia cinética de um elétron é dada por:

$$K = \frac{1}{2} m_e v^2$$

Onde  $m_e$  é a massa do elétron e  $v$  a velocidade do mesmo.

Assim para “frear” um elétron é necessária uma diferença de potencial invertida:

$$eV = K$$

Sendo  $e$  a carga do elétron.

Portanto o Potencial de freamento ( $V_f$ ) está atrelado ao elétron ejetado em direção perpendicular ao catodo e com máxima energia cinética ( $K_{máx}$ ).

Sendo a energia cinética máxima dada por:

$$K_{máx} = \frac{1}{2} m_e v_{máx}^2$$

Logo o potencial de freamento será dado por:

$$eV_F = \frac{1}{2} m_e v_{m\acute{a}x}^2$$

Através do teorema da conservação da energia, evidencia-se que a energia cinética máxima corresponde à energia pela onda luminosa menos o trabalho necessário ( $W$ ) para fazer o elétron escapar dos campos eletrostáticos atrativos na superfície do metal:

$$K = E - W$$

O  $W$  denominado “função trabalho” é uma característica de cada material, na figura 12, são evidenciados valores da função trabalho para diferentes tipos de metais.

Aplicando-se a quantização proposta por Einstein:

$$K = hf - W$$

Fazendo-se as devidas substituições chega-se a seguinte equação:

$$\frac{1}{2} m_e v_{m\acute{a}x}^2 = eV_F = hf - W$$

Conhecida como a “equação de Einstein do efeito fotoelétrico”. Que evidencia a independência dessas variáveis com relação à intensidade luminosa ( $I$ ).

A variação da corrente máxima ( $i$ ) observada, na figura 9, está relacionada com a intensidade da luz incidente, pois quanto mais intensa é a radiação, maior é o número de fótons incidentes por unidade de área e por unidade de tempo, logo havendo mais interações quantum – elétron e conseqüentemente mais partículas carregadas ejetadas, sendo então maior a corrente detectada.

Elemento	Função Trabalho (eV)
Alumínio	4,08
Berílio	5,0
Cádmio	4,07
Cálcio	2,9
Carbono	4,81
Césio	2,1
Cobalto	5,0
Cobre	4,7
Ouro	5,1
Ferro	4,5
Chumbo	4,14
Magnésio	3,68
Mercúrio	4,5
Níquel	5,01
Potássio	2,3
Platina	6,35
Selênio	5,11
Prata	4,73
Sódio	2,28
Urânio	3,6
Zinco	4,3

Figura 12: Função trabalho ( $W$ ) para diferentes elementos em elétron-volt (eV).  
 Fonte: <http://fep.if.usp.br/~profis/experimentando/diurno/downloads/Tabela%20de%20Funcoes%20Trabalho%20de%20Alguns%20Metais.pdf> acessado em 10 de agosto de 2015

3. O potencial de freamento ( $V_F$ ) pode ser obtido a partir da equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, fazendo-se:

$$eV_F = hf - W$$

$$V_F = \frac{hf - W}{e}$$

O que explica o porquê de o  $V_F$  aumentar com o aumento da frequência da onda incidente. Tal função gera uma reta com coeficiente angular  $h/e$  (razão entre a constante de Planck e a carga do elétron), o que confirma a observação feita por Einstein (1905 *apud* NUSSENZVEIG, 1988, p. 252): “Se a fórmula deduzida é correta, um gráfico de  $V_F$ , em função da frequência da luz incidente, deve resultar numa reta, cujo coeficiente angular deve ser independente da natureza da substância iluminada”.

Se radiação eletromagnética incidente no metal não tem a frequência abaixo da mínima necessária para arrancar os elétrons (frequência de corte), não ocorre efeito fotoelétrico, independente da intensidade luminosa incidente. Para se verificar qual o valor dessa frequência de corte ( $f_c$ ) para um determinado material basta-se considerar o elétron sendo ejetado com energia cinética nula ( $K=0$ ), obtendo-se o seguinte:

$$0 = hf_c - W$$

$$f_c = \frac{W}{h}$$

O que esclarece o fato da frequência de corte variar de metal para metal, uma vez que a função trabalho ( $W$ ), como já citado anteriormente é uma característica de cada material, o mesmo ocorrendo para o potencial de freamento ( $V_f$ ) para uma frequência fixa. O gráfico da figura 13 ilustra essas constatações.

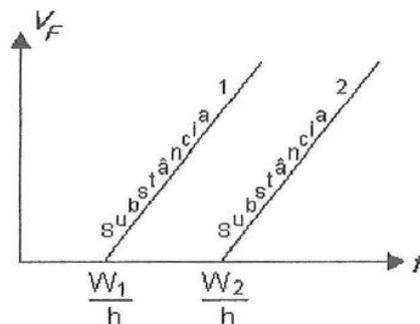


Figura 13: Frequências de corte e dependência linear do potencial  $V_F$  com a frequência.  
Fonte: NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica – vol. 4, 1º Ed., São Paulo: Blucher, 1988, p. 253.

Várias características do efeito fotoelétrico sem explicação no eletromagnetismo clássico passaram a ter explicação imediata por meio da hipótese de Einstein. Entretanto muitos físicos à época receberam com incredulidade a hipótese dos fótons, uma vez que contrariava a teoria clássica da ondulatória da luz, entre eles o próprio Planck. Destaca-se o trabalho realizado pelo Físico americano R. A. Millikan que sem acreditar na explicação de Einstein, passou dez anos realizando vários experimentos para mostrar que a hipótese de Einstein estava errada; o resultado desses trabalhos nas palavras do próprio Millikan foi o seguinte:

...contra todas as minhas expectativas, vi-me obrigado em 1915 a afirmar sua completa verificação experimental, embora nada tivesse de razoável, uma vez que parecia violar tudo o que conhecíamos sobre a interferência da luz. (MILLIKAN, 1915 apud NUSSENZVEIG, 1988, p. 252)

Com relação ainda a essa temática destaca Ricci e Ostermann (2003, p.20):

Einstein ainda havia introduzido um ingrediente novo, e ainda mais chocante, ao afirmar que a própria luz (ou, de modo mais geral, qualquer radiação eletromagnética) era corpuscular, contradizendo de modo radical o Eletromagnetismo de Maxwell, tão bem sucedido até então na explicação da natureza. De fato, por quase duas décadas a comunidade dos físicos de renome relutou fortemente em aceitar tais hipóteses. Foi somente em 1923, com o anúncio dos resultados de experimentos realizados pelo físico norte-americano Arthur Holly Compton (1892-1962) e sua equipe (entre 1919 e 1923), que este panorama começou a mudar e a realidade do fóton começou a ser aceita.

### **3.5. Resistência dependente da Luz**

O LDR (Light Dependent Resistor ou Resistência Dependente da Luz) é um resistor cuja resistência elétrica varia com a intensidade da luz que incide sobre ele. A figura 14 ilustra um exemplo de LDR, bem como o símbolo utilizado para este componente eletrônico.

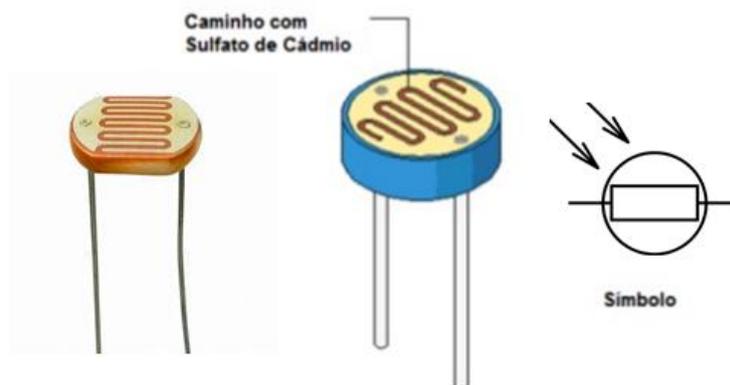


Figura 14: Dispositivo LDR.

Fonte: FERNANDES G. B.; FREITAS, S. A.; PIMENTEL, Y. P. A Matemática da Eletrônica. Material de Auxílio ao Estudante de Eletrônica, Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, 2012, p.17

O funcionamento desse dispositivo é baseado no efeito fotoelétrico interno, que consiste na quebra de ligações covalentes<sup>2</sup> em semicondutores<sup>3</sup> devido à ação dos fótons, o efeito fotoelétrico externo trata-se da emissão de fotoelétrons, discutida na teoria de Einstein. Com relação ao efeito fotoelétrico interno afirma Silva e Assis (2012, p.320-321) o seguinte:

O efeito fotoelétrico interno é o processo que permite o funcionamento de resistências fotoelétricas (LDR), ou de outros dispositivos que transformam a energia luminosa em elétrica: fotômetros (permitem avaliar a intensidade da iluminação a partir da corrente elétrica) ou pilhas solares utilizadas em foguetes espaciais ou em alguns tipos de calculadoras portáteis. Esses dispositivos são compostos por materiais semicondutores. A ação dos fótons incidentes nesses materiais causa a quebra de ligações covalentes, o que aumenta o número de elétrons livres na banda de condução do material, alterando, assim, a resistência do dispositivo e, conseqüentemente, a corrente no circuito.

O LDR, que tem na constituição material semicondutor com alta resistência elétrica, ao ser iluminado tem a resistência elétrica reduzida, uma vez que com a incidência de luz (de frequência suficiente) ocorrerá a absorção de energia dos fótons pelos elétrons, promovendo à quebra de ligações covalentes, promovendo o aumento da quantidade de elétrons livres; tal fenômeno melhorará condutividade do material, diminuindo a resistência,

<sup>2</sup> Em uma ligação covalente os elétrons da camada mais externa (valência) são compartilhados pelos átomos.

<sup>3</sup> Semicondutores são materiais que, a temperatura ambiente, ora conduzem eletricidade e ora não.

facilitando assim a fluidez da corrente elétrica no circuito. Ao contrário, a resistência do LDR aumentará imensamente na ausência de luminosidade incidente no dispositivo, em virtude da diminuição da quantidade de elétrons livres na banda de condução do material (VALADARES; MOREIRA, 1998).

A figura 15 mostra o comportamento da resistência elétrica (R) de um LDR em função da intensidade luminosa incidente, evidenciando a grande variação de valores para resistência, de mega ohms (sem iluminação) até dezenas de ohms (iluminação de alta intensidade):

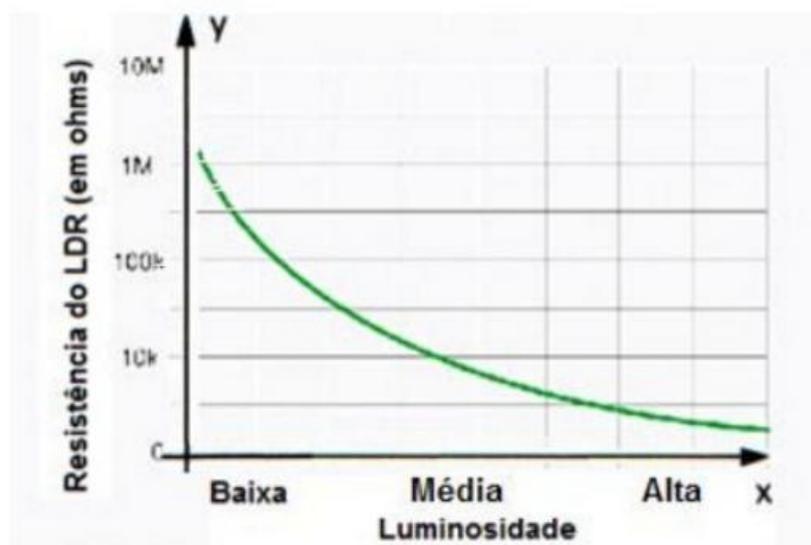


Figura 15: Gráfico do comportamento do LDR.

Fonte: FERNANDES G. B.; FREITAS, S. A.; PIMENTEL, Y. P. A Matemática da Eletrônica. Material de Auxílio ao Estudante de Eletrônica, Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, 2012, p.17

O material mais utilizado na confecção do LDR é sulfeto de cádmio (CdS), pois tem uma sensibilidade à luz semelhante à do olho humano (faixa de luz visível). Para o uso em outras faixas de frequência, diferentes da visível, outros materiais são utilizados, como o arseneto de gálio para o infravermelho. Na figura 16 pode-se ver o comportamento da sensibilidade da resistência de um LDR de sulfeto de cádmio (CdS) em função do comprimento de onda ( $\lambda$ ) da luminosidade incidente, percebe-se que a máxima sensibilidade da resistência elétrica (R) encontra-se entre 4000 Å a 7000 Å, o que corresponde a faixa da luz visível.

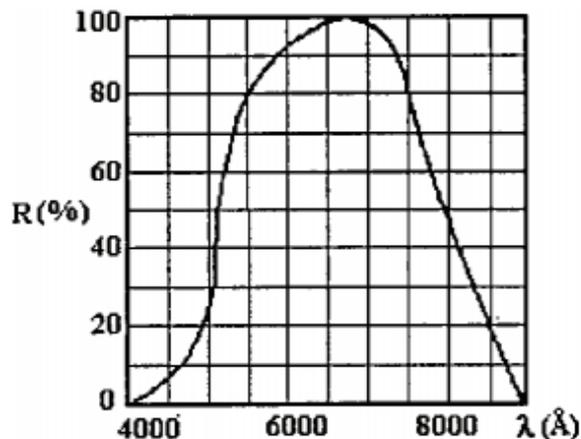


Figura 16: Sensibilidade de um LDR para vários comprimentos de onda da luz incidente ( $\lambda$ ).  
Fonte: VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. Cad. Cat. Ens. Física, v. 15, n. 2, 1998, p. 361.

O LDR está presente em várias tecnologias do dia-a-dia, como por exemplo, no sistema de iluminação pública, em sistemas de alarme, detectores de presença, portas automáticas e de elevadores, esteiras de supermercado, controles remotos, entre outros.

O funcionamento básico deste resistor é o seguinte: o LDR quando é iluminado ou quando tem o feixe de luz que o iluminava interrompido, respectivamente, permite ou impede a passagem de corrente pelo circuito onde está acoplado, provocando o acionando ou a desativação de um sistema eletroeletrônico.

## **4. Proposta de atividade experimental: Simulação do sistema de acendimento automático de iluminação pública**

### **4.1. Material e montagem das maquetes**

A maquete tem a intenção de ilustrar casas e postes de iluminação pública, podendo-se ser utilizados materiais diversos a depender da criatividade e desejo do confeccionador. Neste experimento foram utilizados os seguintes materiais para montagem de dois tipos de maquete:

1. Para o primeiro tipo foram utilizados brinquedos infantis do tipo casinha e blocos de montar, foram dispostas as casas intercalando-se com blocos montados como postes. Esta é uma maquete mais simples de montar em virtude de depender apenas da disposição e encaixe das peças.
2. Para o segundo tipo, realmente foi construída uma maquete, tendo essa uma maior dificuldade de execução, mas com uma finalização esteticamente melhor, tendo sido utilizados os seguintes materiais:
  - Uma folha de madeirito de  $1\text{m}^2$  para a base da maquete;
  - Oito pedaços de cano comum de 2,5cm e de mangueiras rígidas de aquário, para os postes;
  - Folhas de emborrachado e cola quente para confecção de seis casas;
  - Fio elétrico de 0,5mm e parafusos para as conexões e fixação dos postes;
  - Um interruptor para ligar ou desligar o circuito da maquete.

Como existem varias opções e variações para a montagem não serão elencados valores para a confecção das maquetes, salientando que inclusive pode não haver gasto direto no caso do uso dos brinquedos.

## 4.2. Material para montagem dos circuitos

A intenção é a montagem de dois circuitos, um para ser ligado na rede de distribuição elétrica de 220V e um de baixa voltagem utilizando-se baterias, que simulem o sistema de acionamento automático da rede de iluminação pública, através do efeito fotoelétrico interno, no primeiro através de um relé fotoelétrico e no segundo diretamente com um LDR. Serão citados os equipamentos e o valor médio de preço encontrado por este autor.

### 4.2.1. Circuito de 220V

Para o circuito de 220V são necessários os seguintes materiais:

- 01 relé fotoelétrico<sup>4</sup> com Base, 1000W (R\$ 30,00);
- 02 bocais de lâmpada comum, (R\$ 6,00);
- 02 lâmpadas incandescentes de 25W (R\$ 4,00);
- 01 plug macho preto 2 pinos (R\$ 2,00);
- 04 metros de fio elétrico 2,5mm (R\$ 3,00);
- 01 fita isolante (R\$ 3,00).

O que totaliza um gasto de 48 reais, podendo, esse valor, variar dependendo do tipo do material escolhido e do local da compra.

### 4.2.2. Circuito de baixa tensão

Para o circuito de baixa tensão são necessários os seguintes materiais:

- 01 LDR (R\$ 3,00);
- 01 relé<sup>5</sup> 12V de 5 pinos (R\$ 6,00)
- 08 LEDs (R\$ 4,00);
- 01 motor 3V (retirado de um brinquedo).

---

<sup>4</sup> O relé fotoelétrico é um componente eletrônico que a função de ativar ou desativar um determinado circuito automaticamente em virtude da quantidade de luz do ambiente.

<sup>5</sup> O relé é um componente eletrônico que tem a finalidade de possibilitar a alternância de caminho da corrente elétrica que passa por ele.

- 01 bateria de 12V (R\$ 3,00);
- 01 bateria de 9V (R\$ 5,00);
- 02 pilhas de 1,5V (R\$ 2,00);
- 04 metros de fio elétrico 0,5mm (R\$ 3,00);
- 01 fita isolante (R\$ 3,00).

O que totaliza um gasto de 29 reais, podendo também, esse valor, variar dependendo do tipo do material escolhido e do local da compra. Para uma construção mais simples, utilizando-se apenas dois LEDs e dispensando-se a bateria de 9V tem-se um gasto de apenas 21 reais.

### **4.3. Montagem e funcionamento dos circuitos**

#### **4.3.1. Circuito de 220V**

Para montagem do circuito de 220V foram seguidos os passos abaixo:

1. O fio preto do relé fotoelétrico (fase) foi conectado em um dos terminais do plug macho, foi utilizado mais fio, além do existente no próprio relé, para prolongar a extensão da conexão para a fonte de energia.
2. O fio vermelho do relé fotoelétrico foi conectado em um dos terminais do bocal da lâmpada, mais uma vez foi utilizado mais fio para prolongar a extensão da conexão.
3. Utilizando-se mais fio, o outro terminal do bocal foi conectado a um dos terminais do segundo bocal de lâmpada.
4. Usando mais uma extensão de fio, conectou-se o último terminal livre do bocal ao fio branco do relé fotoelétrico.
5. Neste último ponto de conexão foi ainda ligado mais uma extensão de fio (neste ponto tem-se a união de três filamentos), que foi conectado no terminal livre do plug macho.

6. O circuito montado foi afixado na maquete, então foram colocadas as lâmpadas nos bocais e então conectado o plug na rede elétrica de 220V.

Destaca-se que as conexões foram protegidas utilizando-se fita isolante e que as extensões dos fios entre elas podem variar conforme o desejo do confeccionador. Neste circuito tem-se o relé fotoelétrico alimentado diretamente na rede de 220V e ligado a duas lâmpadas em série. As figuras 17 a 19 ilustram a montagem e fixação do circuito na maquete, a figura 20 traz a ilustração esquemática do circuito.

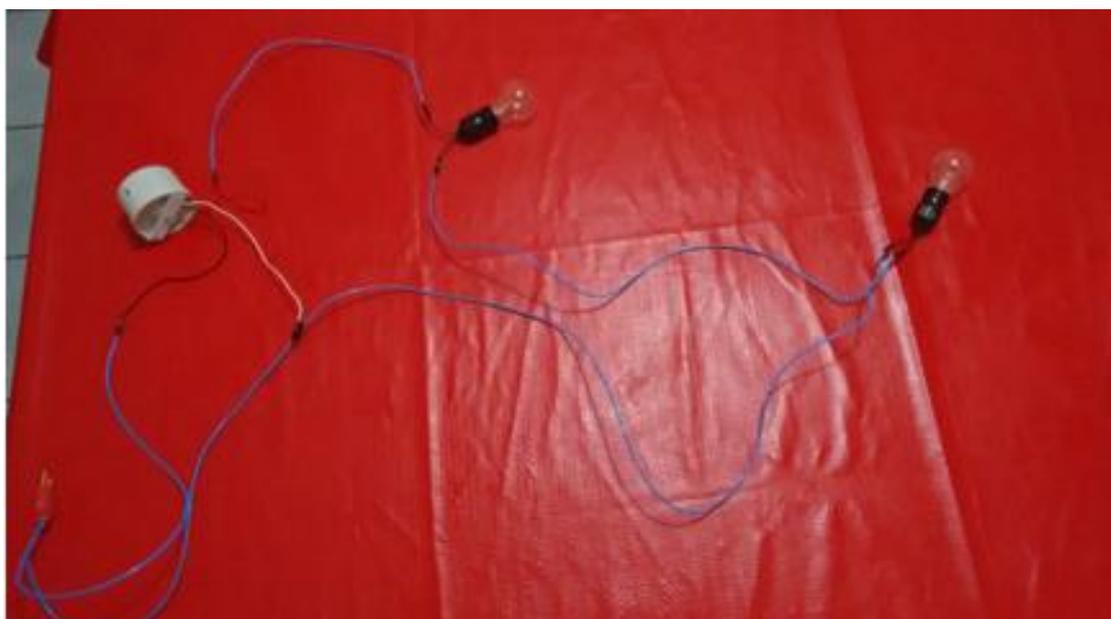


Figura 17: Circuito de 220V montado.



Figura 18: Circuito de 220V montado e fixado na maquete.

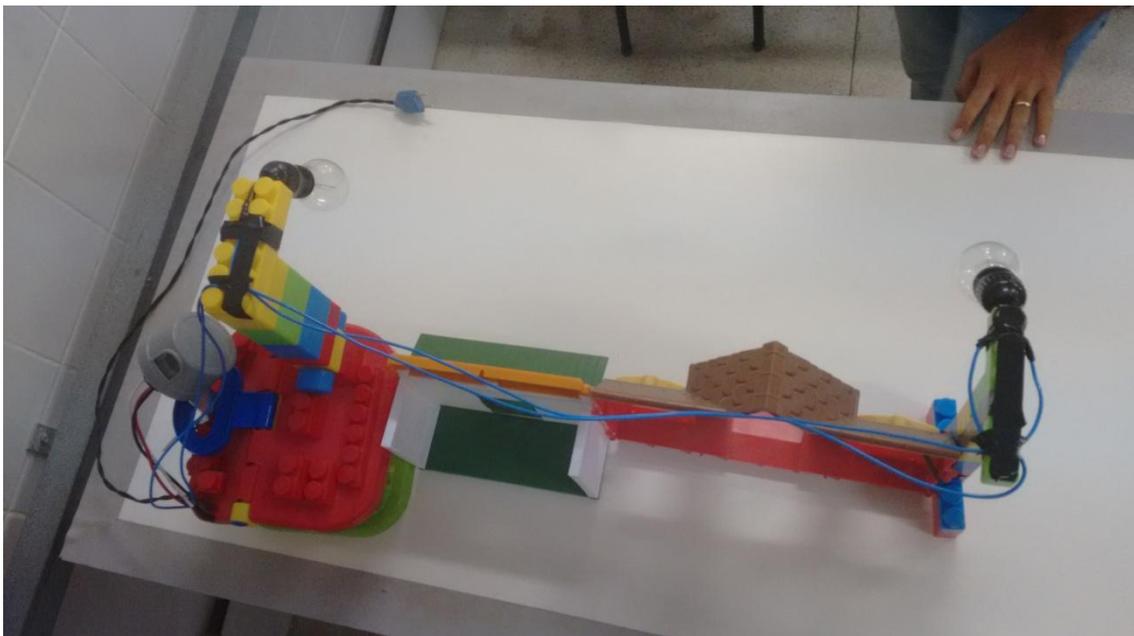


Figura 19: Circuito de 220V montado e fixado na maquete, vista superior.

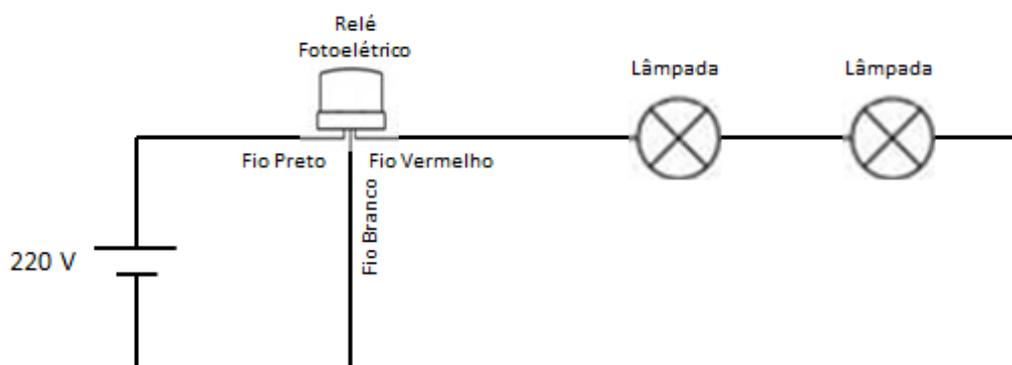


Figura 20: Esquema do circuito de 220V

O funcionamento desse circuito é o seguinte:

1. Ao se ligar o circuito na rede as lâmpadas podem acender, ou não, dependendo da luminosidade do ambiente. Em baixa luminosidade incidente no relé fotoelétrico as mesmas irão acender, caso contrário permanecerão apagadas.
2. No caso em que inicialmente as lâmpadas acendem, deve-se colocar uma fonte de luminosidade (lanterna, por exemplo) direcionada para a abertura de captação luminosa do relé fotoelétrico e aguardar alguns instantes até que as lâmpadas se apaguem. Ao se retirar a fonte luminosa as lâmpadas

irão acender novamente. Nesse caso a luminosidade representaria o dia, enquanto os postes estão apagados e ao se retirar a mesma, simula-se a noite, onde os postes acendem.

3. Na situação em que inicialmente as lâmpadas permanecem apagadas, deve-se cobrir a abertura de captação luminosa do relé, o que fará as lâmpadas acenderem. Ao se descobrir a abertura após alguns instantes as lâmpadas irão apagar novamente. Nesse caso a abertura descoberta representaria o dia, enquanto os postes estão apagados e ao se cobrir a mesma, simula-se a noite, onde os postes acendem.

Todo esse funcionamento se dá em virtude de o relé fotoelétrico possuir um LDR interno direcionado para abertura de captação luminosa. A figura 21 ilustra o circuito em funcionamento.



Figura 21: Circuito 220V em funcionamento.

Destaca-se que com relação ao acender e apagar das lâmpadas pode haver um tempo de retardo, maior ou menor, dependendo do tipo de relé fotoelétrico utilizado. Esse retardo do relé é um mecanismo de proteção para evitar que no funcionamento normal do sistema as lâmpadas possam apagar ou acender indevidamente devido a variações repentinas de luminosidade, que não sejam o transcorrer normal do dia e noite, como por exemplo, um relâmpago ou um farol alto de um carro.

#### 4.3.2. Circuito de baixa tensão

Para montagem do circuito de baixa tensão foram seguidos os passos abaixo:

1. Foram conectadas extensões de fios nos cinco pinos do relé de 12V, conforme ilustrado na figura 22.

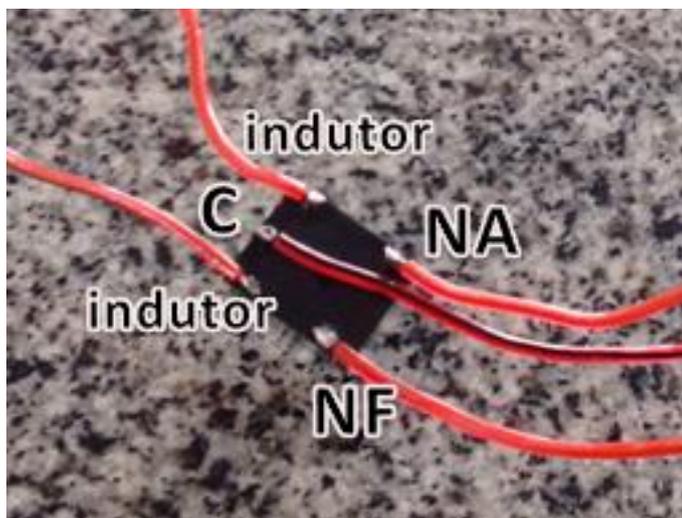


Figura 22: Circuito de baixa tensão, passo 1.

2. Nas extensões dos pinos do indutor do relé foram conectadas em série a bateria de 12V e o LDR, colocando-se uma mais uma extensão de fio entre os dois últimos componentes citados, como se pode ver na figura 23.

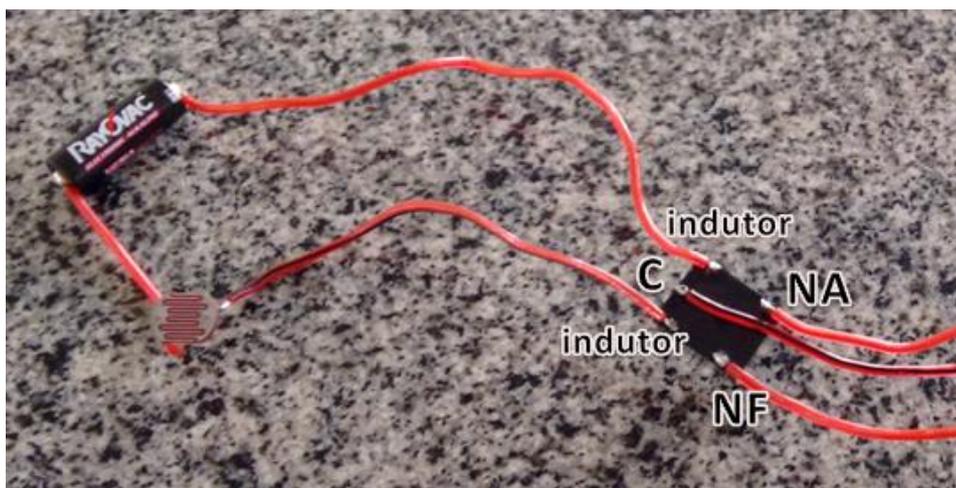


Figura 23: Circuito de baixa tensão, passo 2.

3. Na extensão do NA (normalmente aberto) do relé foi conectado em série as duas pilhas de 1,5V (conectadas em série uma a outra) e o motor de 3V, nesta ordem, fechando esse ramo conectando à extensão do C (comum), também do relé.
4. Na extensão do NF (normalmente fechado) do relé foi conectado em série a bateria de 9V, o arranjo de oito LEDs conectados entre si em série e paralelo (fixados na maquete) e o interruptor, fechando esse ramo conectando, também, à extensão do C. Deve se observar que o LED só funciona se for conectado no sentido correto da corrente: o conector mais longo do LED deve ser conectado voltado para o polo positivo da bateria e o mais curto para o negativo, caso contrario não acenderá. As figuras 24 a 26 ilustram a montagem e fixação do circuito de baixa tensão na maquete, a figura 27 traz a ilustração esquemática do circuito, onde se utilizaram 8 LEDs.

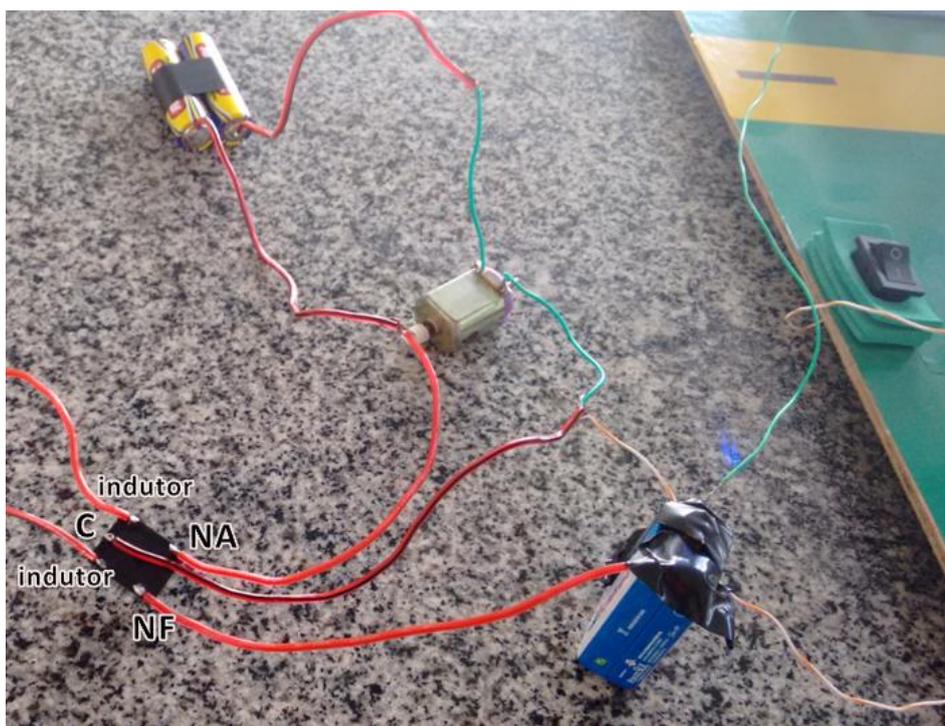


Figura 24: Circuito de baixa tensão, passo 3 e 4.

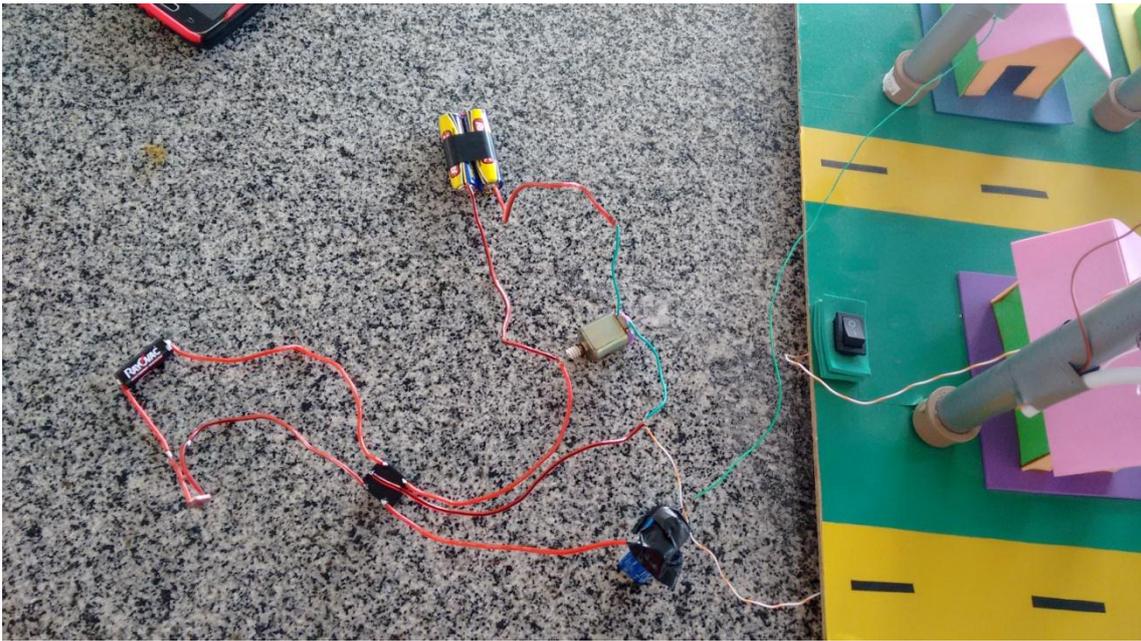


Figura 25: Circuito de baixa tensão montado.



Figura 26: Circuito de baixa tensão montado e fixado na maquete.

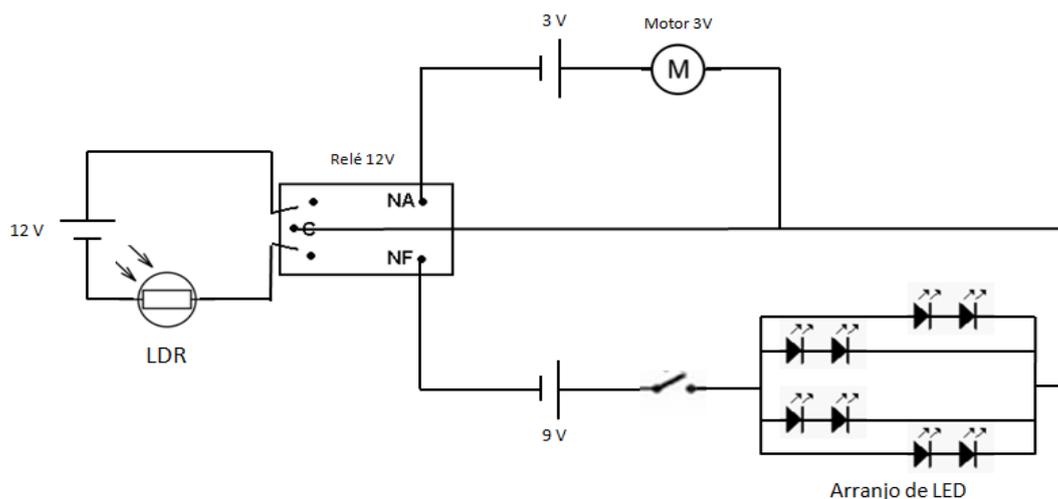


Figura 27: Esquema do circuito de baixa tensão.

5. A disposição dos LEDs, orientada no passo 4, pode variar conforme a intenção do confeccionador, destacando-se inclusive que para uma disposição mais simples, com apenas dois LEDs em paralelo, fixados na maquete de peças de brinquedo, pode-se dispensar a bateria de 9V e utilizar-se apenas as duas pilhas de 1,5V para alimentar ambos os ramos, deixando as pilhas conectadas em serie na extensão do comum e fechando os dois ramos dos circuitos (NA e NF) na extensão das pilhas. As figuras 28 e 29 ilustram a montagem e fixação do circuito alternativo de baixa tensão, apenas dois LEDs, na maquete, a figura 30 traz a ilustração esquemática desse circuito.

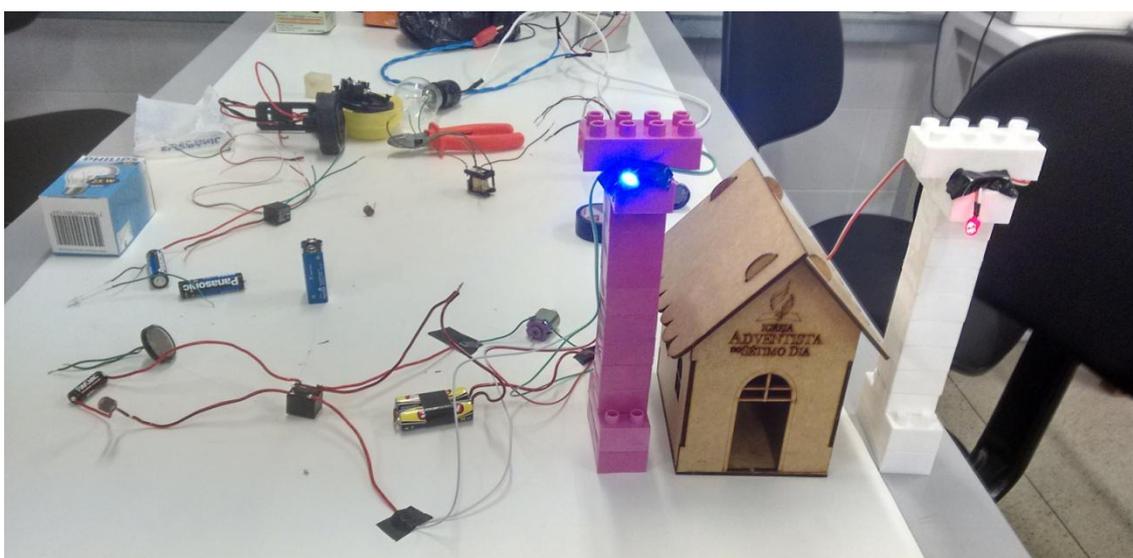


Figura 28: Circuito de baixa tensão montagem mais simples, com apenas dois LEDs.

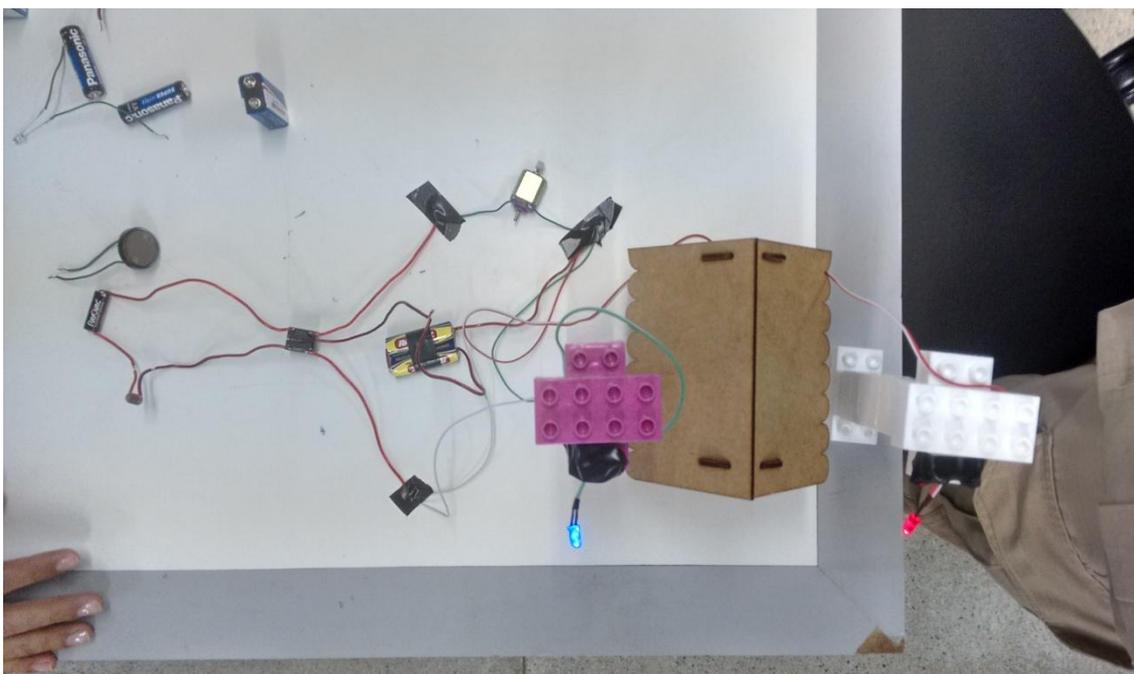


Figura 29: Circuito de baixa tensão montagem mais simples, com apenas dois LEDs, vista superior.

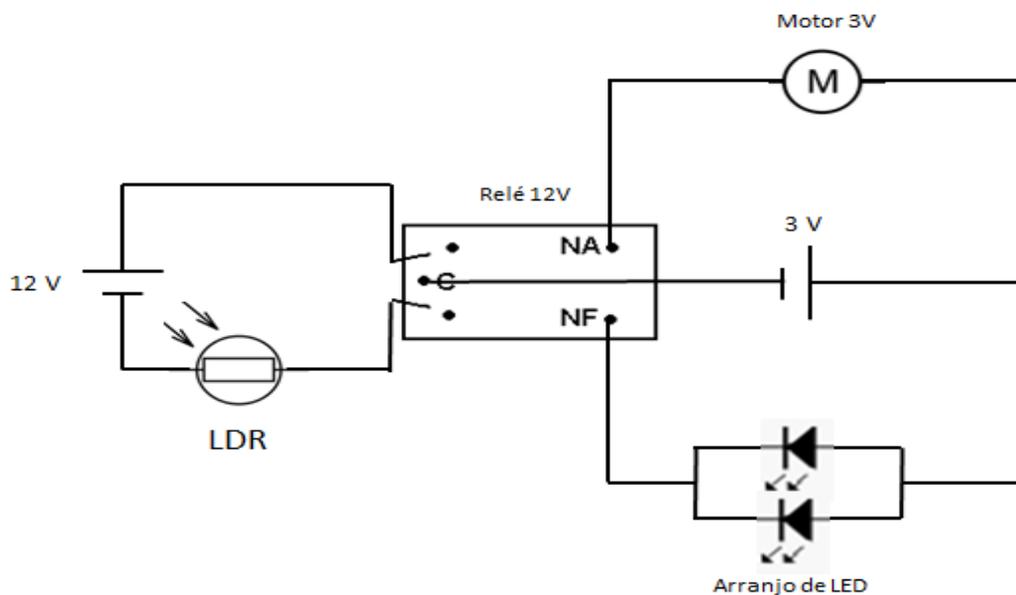


Figura 30: Esquema do circuito de baixa tensão montagem mais simples, com apenas dois LEDs.

Destaca-se que as conexões dos passos um, dois e das duas pilhas de 1,5V foram feitas utilizando-se solda a fim de se evitar que essas se

desfizessem, as demais foram protegidas utilizando-se fita isolante, proporcionando nesses trechos a possibilidade de se realizarem variações posteriores. Neste circuito têm-se três ramos: o do indutor, onde está o LDR; o do NF, onde estão os LEDs e o do NA, onde está o motor de 3V.

O funcionamento desse circuito é o seguinte:

1. Ao se ativar o interruptor (ou fechar o circuito) do ramo NF os LEDs irão acender desde que não se ilumine o LDR. Isso acontece em virtude de nessa situação o LDR não deixar passar corrente pelo circuito do indutor, o que mantém a chave do relé na posição NF, fechando esse circuito e fazendo a corrente fluir nesse ramo. Caso os LEDs não acendam, ao ativar o interruptor, deve-se diminuir a luminosidade que esteja incidindo no LDR.
2. Ao se colocar uma fonte de luminosidade (lanterna, por exemplo) direcionada para o LDR os LEDs irão se apagar e o motor passará a funcionar. Nessa situação o LDR iluminado permitirá a passagem de corrente pelo circuito do indutor interno no relé, o que fará a chave do relé passar para posição NA, por indução eletromagnética, o que fecha esse circuito, fazendo a corrente fluir nesse ramo e não mais no ramo dos LEDs, que agora se encontra aberto.
3. Ao se retirar a fonte luminosa os LEDs irão acender novamente e o motor para de funcionar. Nesse caso o LDR iluminado representaria o dia, enquanto os postes estão apagados e ao se retirar a iluminação, simula-se a noite, onde os postes acendem. A ativação do motor tem a finalidade de se ilustrar a distribuição de energia pelas estações de geração e transmissão de eletricidade, que aumenta o fluxo na zona industrial durante o dia e diminui a noite.
4. Destaca-se ainda que ao haver a mudança da posição da chave do relé de 12V, em virtude da passagem ou não de corrente pelo indutor do relé, pode-se ouvir o barulho, um tipo de “estalo”, desse movimento da chave.

A figura 31 traz a ilustração esquemática do relé de 12V, já o funcionamento deste experimento é ilustrado nas figuras 32 e 33.

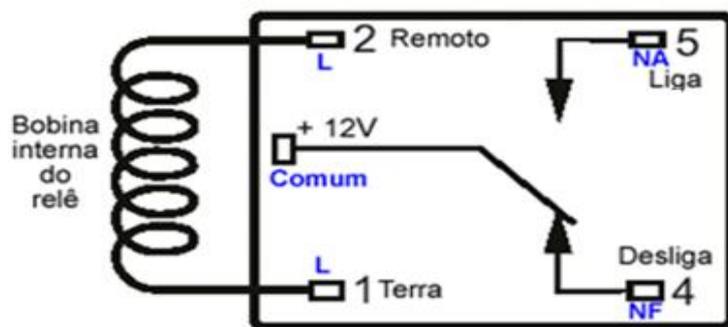


Figura 31: Esquema do funcionamento do relé de 12V.



Figura 32: Circuito de baixa tensão em funcionamento, LDR não iluminado.



Figura 33: Circuito de baixa tensão em funcionamento, LDR iluminado.

#### 4.4. Montagens complementares

Neste tópico serão apresentadas algumas montagens adicionais que poderão ser utilizadas durante a execução deste experimento para evidenciar um pouco mais as características do efeito fotoelétrico, bem como evidenciar outras aplicações do mesmo; estas montagens poderão ser inclusive realizadas pelos próprios estudantes.

##### 4.4.1. Multímetro – LDR

Para esta montagem será utilizado um multímetro e um LDR. Fazendo as conexões entre os terminais de ambos e regulando o multímetro adequadamente para aferir a resistência elétrica do LDR, a figura 34 traz a ilustração esquemática dessa montagem.

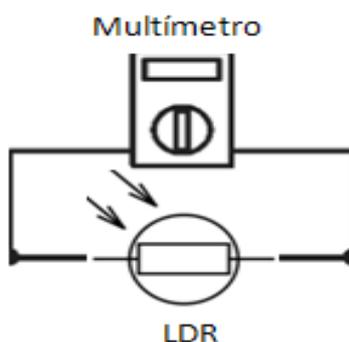


Figura 34: Esquema da montagem multímetro – LDR.

O funcionamento desta montagem é o seguinte:

1. Ao se ativar o multímetro posicionando a chave para aferição da resistência elétrica ( $R$ ) em ohm ( $\Omega$ ), será indicado o valor da resistência do LDR.
2. Sem iluminar o LDR deverá ser realizado o ajuste da escala de medida da resistência elétrica de maneira a se conseguir a melhor visualização desse valor.
3. Será realizada a iluminação do LDR (com uma lanterna, por exemplo) e então será verificado o novo valor para resistência do mesmo. Será verificado, que quando não está iluminada a resistência elétrica do LDR apresenta altos valores, já quando o mesmo passa ser iluminado tem uma

diminuição da resistência, conforme se aumenta a intensidade luminosa, chegando a valores próximos a  $0 \Omega$ . O controle do aumento e diminuição da intensidade luminosa incidente pode ser realizado, respectivamente, aproximando-se ou distanciando-se a fonte luminosa do LDR, por exemplo.

4. Pode-se ainda realizar a variação da cor da luminosidade (faixa de frequência) incidente no LDR, verificando-se então a variação do valor da resistência elétrica. Essa variação de cores pode ser realizada, por exemplo, utilizando-se filtros de frequências (cores) na frente da fonte luminosa ou com uso de laser em cores diferentes (vermelho, verde e azul) para iluminar o LDR.

Essa dinâmica pode ser utilizada para fixação dos conceitos envolvidos no efeito fotoelétrico, já citados anteriormente. Destaca-se que alguns laboratórios de física possuem um kit de eletrônica, o qual conta com um arranjo onde o multímetro já está conectado a vários dispositivos eletrônicos, entre eles o LDR, sendo apenas necessário fazer a conexão nos terminais do LDR e realizar os devidos ajustes na escala de aferição da resistência. A figura 35 ilustra a execução desta dinâmica na situação do LDR sem iluminação e iluminado, evidenciando a variação considerável da resistência elétrica aferida.



Figura 35: Montagem multímetro – LDR, utilizando-se Kit de eletrônica, sem iluminação (esquerda) e iluminado (direita).

#### 4.4.2. Alarme de furto

Para esse circuito são necessários os seguintes materiais:

- 01 LDR pequeno (R\$ 2,00);
- 01 bateria de 12V (R\$ 3,00);
- 01 buzzer<sup>6</sup> 12V (R\$ 3,00)

Para montagem do circuito foram seguidos os passos abaixo:

1. Foram conectadas extensões de fios nos pinos do buzzer de 12V, o terminal positivo foi conectado ao positivo da bateria de 12V (caso haja a inversão da polaridade, o buzzer não irá funcionar adequadamente) e o terminal negativo foi conectado a um dos terminais do LDR.
2. O outro terminal do LDR foi conectado ao terminal negativo da bateria de 12V fechando assim o circuito. A figura 36 traz a ilustração esquemática desse circuito.

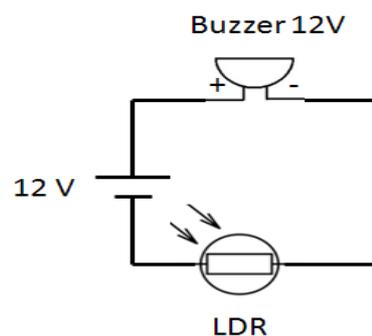


Figura 36: Esquema do circuito – Alarme de furto.

O funcionamento desse circuito é o seguinte:

1. Ao se fechar o circuito nada acontecerá, pois enquanto o LDR estiver sem iluminação, terá uma alta resistência não permitindo a passagem de corrente pelo circuito. Caso o buzzer seja acionado ao se fechar o circuito, deve-se diminuir a luminosidade que esteja incidindo no LDR.
2. Utilizando-se um laser, o LDR deverá ser iluminado, o que diminuirá a resistência elétrica, permitindo a passagem de corrente pelo buzzer, que emitirá um som contínuo.

<sup>6</sup> O buzzer é um dispositivo eletrônico que emite um som contínuo quando há a passagem de corrente elétrica.

3. Será colocado então um objeto opaco entre o feixe do laser e o LDR, impedindo assim a iluminação deste, o que fará o buzzer ser mais uma vez desativado.
4. O funcionamento do alarme é o seguinte: enquanto o objeto estiver no local, o LDR permanecerá sem iluminação e o buzzer estará desativado, conforme ilustrado na figura 37; entretanto se o objeto for retirado do local (caso do furto), o feixe do laser atingirá o LDR, provocando assim o acionamento do “alarme sonoro” (buzzer), situação evidenciada na figura 38.

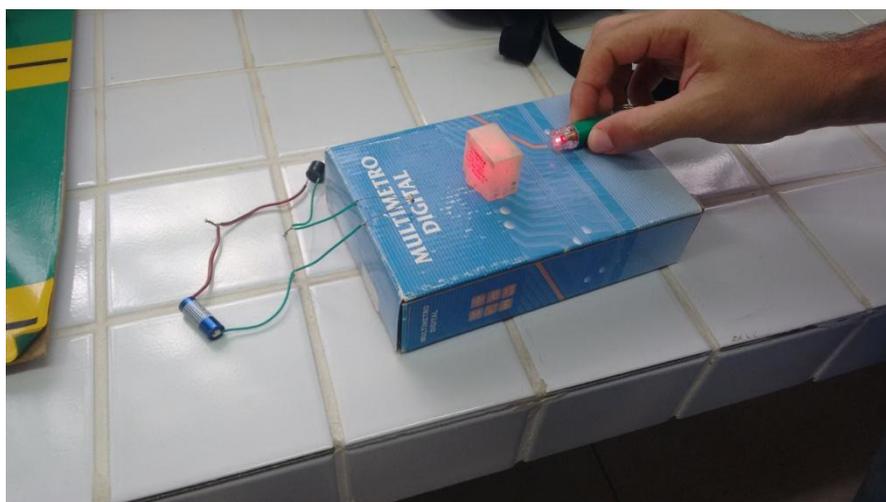


Figura 37: Circuito do alarme de furto montado com objeto bloqueando o laser, LDR não iluminado.

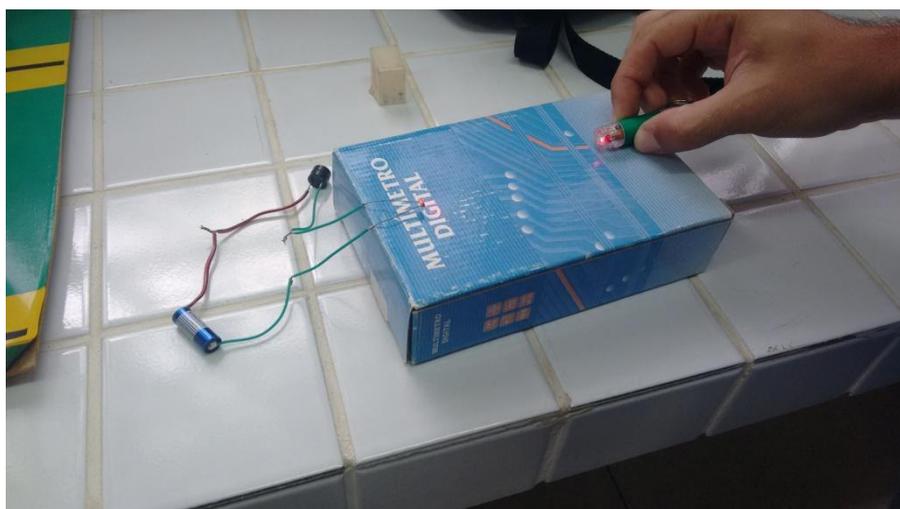


Figura 38: Circuito do alarme de furto ativado com a retirada (“furto”) do objeto, LDR iluminado.

Destaca-se que essa montagem pode ser ainda utilizada para se verificar a influência da intensidade luminosa na corrente elétrica, para isso deverá ser utilizada uma lanterna para iluminar o LDR. Quando a fonte luminosa for aproximada (aumento da intensidade luminosa) do LDR, verificar-se-á o aumento da intensidade sonora emitida pelo buzzer; já com o distanciamento da fonte luminosa (diminuição da intensidade) haverá a diminuição da intensidade sonora. O mesmo procedimento pode ser realizado também se substituindo o buzzer por um LED (deverá haver uma adequação na voltagem da fonte de alimentação, devendo ser de no máximo 3V), onde será visto a variação da intensidade luminosa emitida. Outra análise possível é promover a variação da cor da luminosidade (faixa de frequência) incidente.

#### **4.4.3. Alarme de invasão**

Para esse circuito são necessários os seguintes materiais:

- 01 LDR pequeno (R\$ 2,00);
- 02 bateria de 12V (R\$ 6,00);
- 01 buzzer 12V (R\$ 3,00)
- 01 relé 12V de 5 pinos (R\$ 6,00)

Para montagem do circuito foram seguidos os passos abaixo:

1. Foram conectadas extensões de fios nos cinco pinos do relé de 12V.
2. Nas extensões dos pinos do indutor do relé foram conectadas em série a bateria de 12V e o LDR pequeno, colocando-se uma mais uma extensão de fio entre os dois últimos componentes citados, ambos os passos tem configuração semelhante ao que foi ilustrado anteriormente nas figuras 22 e 23.
3. Foram conectadas extensões de fios nos pinos do buzzer de 12V e o terminal positivo foi conectado ao positivo da bateria de 12V (mesma situação descrita no item anterior).
4. Na extensão do NF (normalmente fechado) do relé foi conectado em série a bateria de 12V e o buzzer (montagem feita no passo anterior), fechando

esse ramo conectando, também, à extensão do C. A extensão NA (normalmente aberta) do relé permaneceu sem conexões. A figura 39 traz a ilustração esquemática dessa montagem.

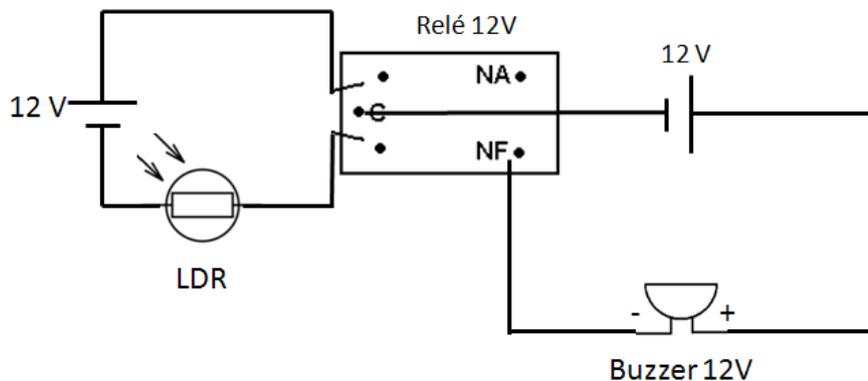


Figura 39: Esquema do circuito – Alarme de invasão.

O funcionamento desse circuito é o seguinte:

1. Ao se fechar o ramo NF do circuito, automaticamente, o buzzer irá ser ativado emitindo um som contínuo. Isso acontece em virtude de nessa situação o LDR, sem iluminação, não deixar passar corrente pelo circuito do indutor, o que mantém a chave do relé na posição NF, fechando esse circuito e fazendo a corrente fluir nesse ramo. Caso o buzzer não seja acionado ao se fechar o circuito, deve-se diminuir a luminosidade que esteja incidindo no LDR.
2. Utilizando-se um laser, o LDR deverá ser iluminado, o que diminuirá a resistência elétrica, permitindo a passagem de corrente pelo circuito do indutor interno no relé, o que fará a chave do relé passar para posição NA, o que abre o circuito do ramo NF impedindo a passagem de corrente pelo buzzer, que será desativado.
3. O funcionamento do alarme é o seguinte: enquanto o feixe do laser estiver incidindo no LDR, o buzzer permanecerá desativado; entretanto se algo bloquear o feixe luminoso, o caso de algo passar por ele (situação de uma invasão), provocará o acionamento do “alarme sonoro” (buzzer).

Destaca-se que nessa montagem a utilização de laser vermelho (faixa de menor frequência) pode não funcionar adequadamente, uma vez que poderá não haver uma redução suficiente da resistência do LDR para permitir a

passagem de corrente suficiente para ativar o indutor do relé. Uma solução para esse problema é utilização de laser verde ou azul (faixa de maior frequência), ou ainda o uso de lanterna com o auxílio de lupa para focalizar o feixe luminoso.

#### 4.5. Ilustrações gerais

Serão apresentadas a seguir, figuras 40 a 44, as ilustrações dos principais componentes das montagens experimentais apresentadas neste capítulo.



Figura 40: Relé fotoelétrico 220V, lâmpada incandescente no bocal e plug.

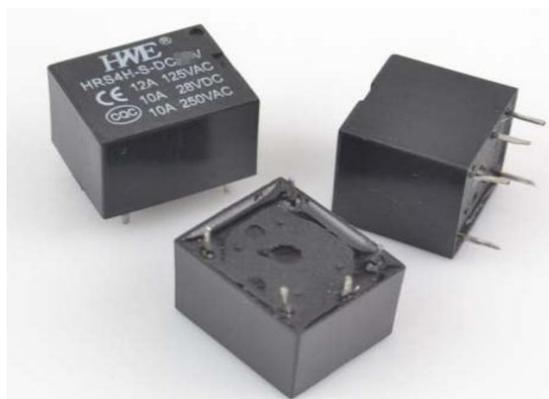


Figura 41: Figura 40: Relé 12V de 5 pinos.

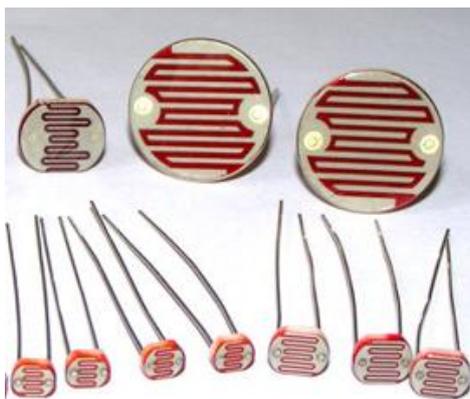


Figura 42: LDR, tamanhos variados.



Figura 43: LEDs.



Figura 44: Buzzer 12V.

As figuras 45 e 46 ilustram, respectivamente, um relé fotoelétrico e um relé 12V abertos, tais componentes, nesta situação, são também ferramentas importantes para as explicações deste experimento, sendo inclusive interessante que os alunos tenham a oportunidade de manuseá-los desta maneira.

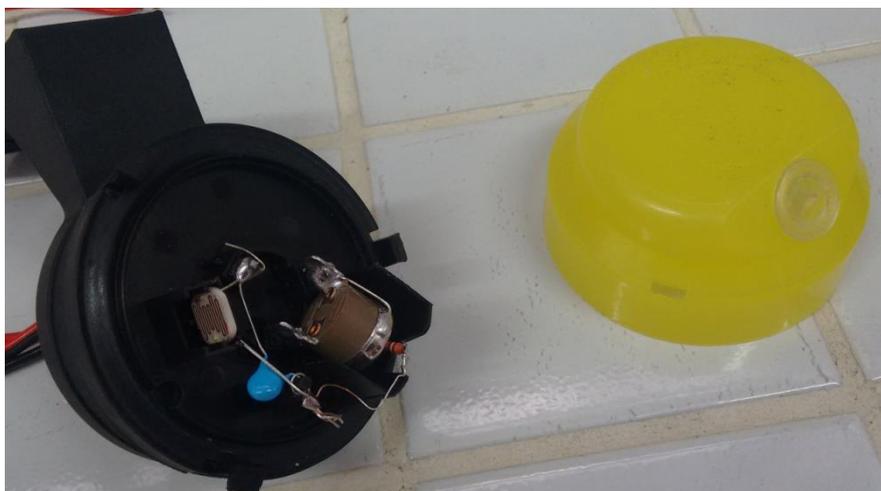


Figura 45: Relé fotoelétrico aberto.

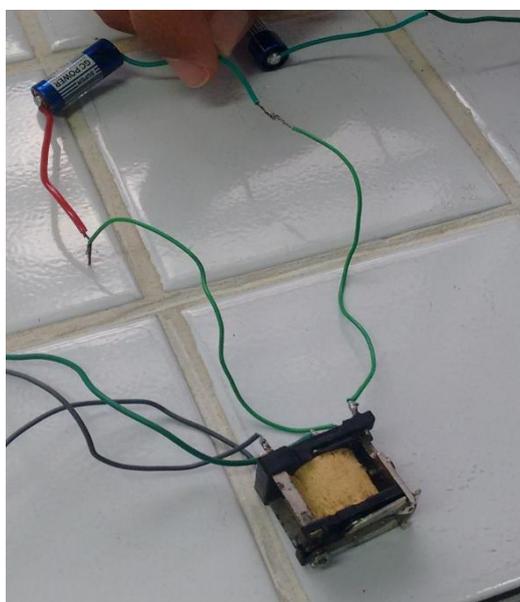


Figura 46: Relé 12V aberto, sendo feita a ativação do indutor para visualização do movimento da chave.

A figura 47 traz uma ilustração da visão geral de uma bancada preparada para a realização deste experimento, com todas as montagens alimentadas por baterias.



Figura 47: Bancada com toda montagem experimental

## **5. Proposta de atividade lúdica: “Queimada Fotoelétrica”**

### **5.1. Objetivo do jogo**

O objetivo desse jogo é proporcionar para os discentes, de maneira lúdica, a experiência do funcionamento de alguns dos princípios físicos envolvidos no efeito fotoelétrico. Esta dinâmica pode ser utilizada tanto para expor a temática pela primeira vez, como para se fazer uma revisão e fixação dos conteúdos.

### **5.2. Requisitos**

O jogo pode ser utilizado tanto em turmas do 9º ano do Ensino Fundamental, como em turmas do Ensino Médio. O ideal é que os alunos já detenham noções básicas de alguns conceitos de ondulatória (frequência, comprimento de onda, intensidade), elétrica (elétrons, corrente, energia, carga elétrica) e energia cinética. Mesmo assim, é possível realizar a atividade havendo ausência desses conhecimentos, para isso utilizando-se uma abordagem mais qualitativa dos conceitos envolvidos no efeito fotoelétrico como, por exemplo, não se falar nas frequências das faixas do espectro luminoso, mas que determinada cor possui mais energia que outra, atribuindo valores discretos para as variáveis envolvidas.

### **5.3. Descrição**

O jogo é disputado entre duas equipes, com uma disposição e dinâmica semelhante a do jogo de queimada tradicional, onde os integrantes de cada uma das duas equipes tentam acertar bolas nos integrantes do time adversário. Sendo que nesta nova versão o aluno atingido não é eliminado, mas poderá ser levado ou não a conectar uma pilha no circuito eletrônico definido,

ganhando a equipe que conseguir ativar o circuito primeiro. A figura 48 traz a ilustração de um jogo de queimada tradicional.



Figura 48: Jogo de queimada tradicional.

Fonte: <http://www.anos80.net/brinquedos-e-brincadeiras/jogo-de-queimada> acessado em 17 de janeiro de 2016

O jogo é composto basicamente por:

- Bolas coloridas, nas cores vermelho, amarelo, verde e azul; é bom se ter uma quantidade mínima de duas bolas de cada cor (um total de oito bolas). Destaca-se que as bolas não podem ser duras ou pesadas (preferencialmente feitas de borracha ou plástico maleável), a fim de se evitar lesões em virtude do impacto e a quantidade pode ser maior dependendo do desejo do docente e da quantidade de participantes. Pode-se também aumentar a quantidade de cores, mas dentro do espectro visível da luz, nesse caso se adicionariam as cores violeta, ciano e alaranjado. Para a dinâmica dentro de sala de aula (de dimensão mediana) é bom se utilizar bolas pequenas (do tipo usada em piscina de bolas, por exemplo), já para ambientes maiores e/ou abertos pode-se utilizar as maiores, das dimensões de uma bola de vôlei.
- Recipiente onde as bolas serão acondicionadas, podendo ser um saco ou uma caixa, por exemplo, destacando-se que os mesmos não devem ser transparentes.
- Cordas, fitas ou giz para se determinar limitação das áreas de cada equipe.
- Dado numerado de 1 a 6; pode ser grande (preferencialmente) ou pequeno.
- Calculadoras.

- Pilhas de 1,5 V, em uma quantidade mínima de seis. Essa quantidade pode ser maior dependendo do desejo do docente, da quantidade de participantes e da duração que se pretende para a dinâmica, uma vez que a quantidade de pilhas a serem conectadas ao circuito é o que define o término do jogo.
- Arranjo com alguns LEDs em série e/ou paralelo. A quantidade e disposição dos LEDs dependerão do número de pilhas que serão conectadas ao circuito. Esse arranjo pode ser substituído por brinquedos eletrônicos movido a pilha de 1,5V, nesse caso a quantidade de brinquedos será definida em função da quantidade de pilhas determinadas para o término do jogo.
- Cartões onde serão colocados os valores para as barreiras de saída das áreas (função trabalho); podem ser substituído por folhas de papel onde serão escritos os valores.
- Cartaz com a tabela de informações necessárias a atividade: fórmula do efeito fotoelétrico, frequências do espectro de luz visível, valores das intensidades luminosas com correspondência da quantidade de fótons, entre outras que se julgarem necessários. Ao invés do cartaz pode ser utilizado um banner ou até mesmo as informações podem ser projetadas ou escritas em um quadro (modelo de cartaz vide item 5.6).
- O espaço físico para realização da atividade poderá ser a própria sala de aula (nesse caso o jogo deve ter um menor dimensionamento), ou um ambiente aberto com maior dimensão, como a quadra poliesportiva, por exemplo.

#### **5.4. Procedimento**

Inicialmente serão montadas duas equipes, que definirão o próprio nome (A e B, por exemplo). Delimitam-se as áreas de atuação das equipes, devendo haver uma área de separação entre elas, as dimensões dependerão da quantidade de participantes e do espaço disponível. Em uma das bordas laterais da área de separação definida para o jogo se colocarão duas bancadas com os circuitos eletrônicos a serem ativados e o cartaz com a tabela de

informações, de maneira centralizada, preferencialmente. Ao longo da linha de delimitação frontal de cada área se colocarão as pilhas. E então o jogo será iniciado seguindo as seguintes etapas:

1. As equipes irão pegar, aleatoriamente, um dos cartões com o valor para energia da barreira de saída (análogo da função trabalho), que só poderá ser visto no passo 6, devendo o mesmo momentaneamente ser deixado sobre a linha de delimitação frontal, com o conteúdo encoberto (“de cabeça para baixo”).
2. Cada equipe irá lançar o dado, que definirá a quantidade de bolas a serem arremessadas na rodada (analogia a intensidade luminosa como quantidade de fótons emitidos). Para o jogo em menores dimensões se terá para o resultado do dado o seguinte: 1 ou 2 – baixa intensidade, uma bola; 3 ou 4 – média intensidade, duas bolas; 5 ou 6 – alta intensidade, 3 bolas.
3. As equipes irão pegar no recipiente a quantidade de bolas obtidas na etapa anterior, não haverá escolha das cores, eles pegarão, sem olhar para o interior. A equipe define quais os integrantes que pegarão as bolas, sendo apenas uma por aluno.
4. Nesta etapa, as equipes irão efetuar o arremesso das bolas tentando atingir os componentes da equipe oposta. Os arremessos deverão ser efetuados pelo mesmo aluno que pegou a bola no recipiente (correspondente análogo do emissor de fótons - fonte luminosa).
5. Após os arremessos os componentes das equipes que foram atingidos deverão aferir a energia da bola, de acordo com a cor, que o atingiu (correspondente análogo do fóton com a frequência correspondente). Para efetuar os cálculos será utilizada calculadora e as informações constantes no cartaz, a partir da função para energia do fóton  $E = hf$ .
6. Os componentes atingidos irão comparar o valor da energia da bola, com o valor que ficou determinado para a barreira de saída do aluno, cartão selecionado anteriormente no passo 1 (correspondente análogo, respectivamente, da função trabalho e do elétron absorvendo a energia do fóton para poder ou não ser ejetado do átomo). Se energia da bola (fóton -  $E$ ) for maior que o valor da barreira (função trabalho -  $W$ ),  $E > W$ , então o

aluno irá sair da área delimitada (elétron ejetado), caso contrario permanecerá na mesma.

7. Os alunos atingidos, que puderem sair, verificarão qual será a energia que terão na liberação (correspondente análogo da energia do elétron ejetado) e analisarão se a velocidade de saída é alta, média ou baixa (correspondente análogo da velocidade do elétron ejetado), utilizando mais uma vez a calculadora e a função para energia do elétron ejetado  $K = hf - W$  ou simplesmente  $K = E - W$ , na tabela do cartaz serão definidas os níveis de velocidade de acordo com as faixas estabelecidas para energia de liberação. Os cálculos 5, 6 e 7 poderão ser também realizados pelo aluno arremessador que atingiu o oponente, a critério de confirmação.
8. Os alunos atingidos que realizaram a análise da velocidade pegarão cada um, uma das pilhas colocadas no limite da área, então se deslocarão em direção das bancadas no centro, conectarão a pilha no circuito determinado para equipe contrária (exemplificando: equipe A coloca as pilhas no circuito da equipe B e vice-versa) e então estarão eliminados da disputa. Destaca-se que o deslocamento para bancada deve obedecer às faixas definidas para a velocidade da seguinte maneira: “alta – correndo”, “média – andando” e “baixa - andando devagar”. Chegando assim ao fim de uma rodada.
9. Após esta etapa será iniciada a nova rodada, repetindo-se todos os passos a partir da etapa 1. O jogo encerrará quando o circuito de uma das bancadas for ativado, ou seja, todas as pilhas de uma das áreas foram conectadas, sendo declarada vencedora a equipe que tiver o próprio circuito ativado pela outra equipe (exemplificando: equipe A vence se fizer a equipe B ativar o circuito A e vice-versa). Em caso de os dois circuitos serem ativados na mesma rodada, haverá um empate, podendo, a critério do docente, ser tomada uma das seguintes sugestões:
  - Encerrar com o empate (não há vencedor);
  - Declarar como vencedora a equipe que na última rodada conseguiu eliminar (ejetar) mais alunos da rival;
  - Executar mais uma rodada para desempate ganhando a que realizar o citado no item anterior.

Na figura 49 é apresentado um fluxograma com o resumo das etapas na dinâmica deste jogo.

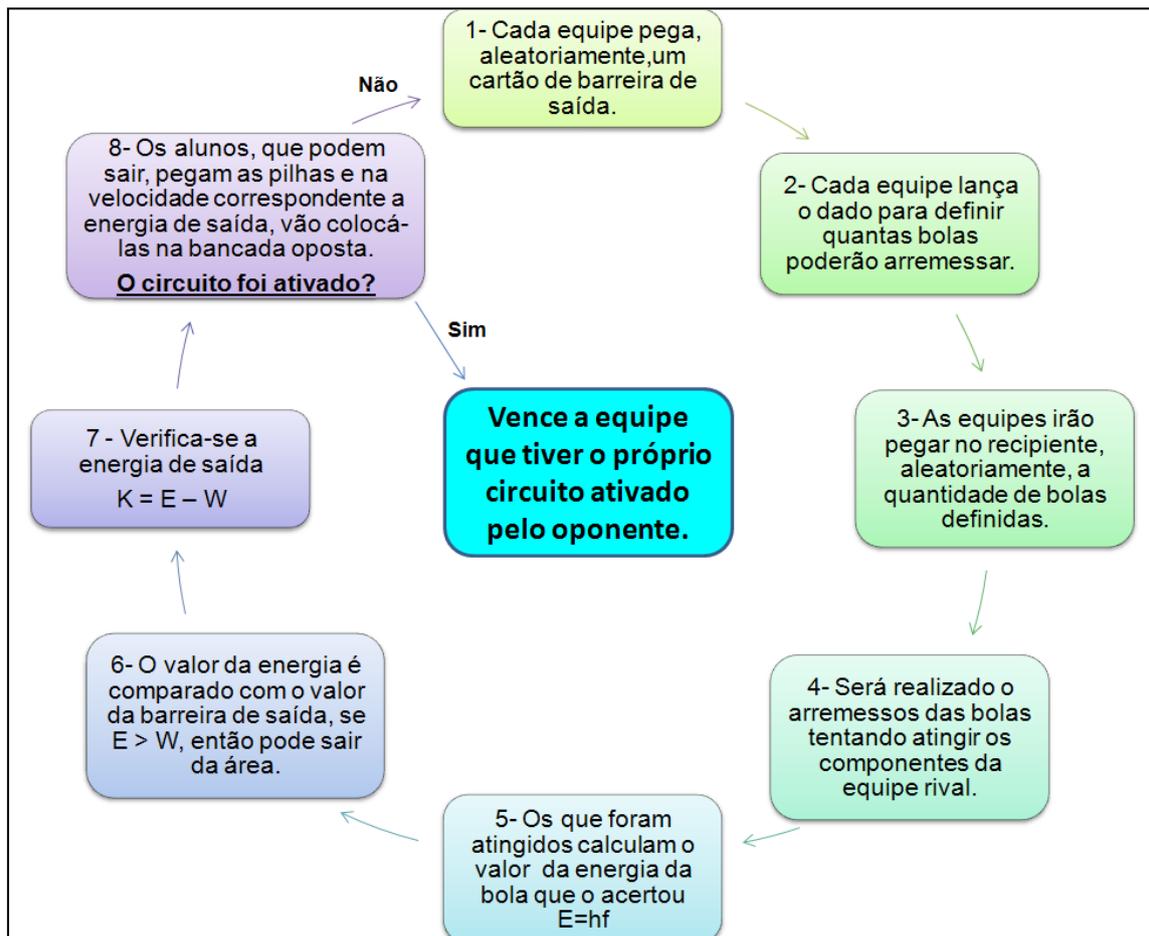


Figura 49: Fluxograma das etapas do jogo "Queimada Fotoelétrica".

Dentro das regras do jogo ficará definida a punição de perder uma das pilhas já conectadas ao circuito (ou a primeira que conectar, caso nenhuma tenha sido conectada ainda), a equipe que incorrer em um desses procedimentos, os quais serão previamente avisados:

- Arremessar a bola contra o rosto de qualquer participante.
- Utilizar de força excessiva no arremesso.
- Obter valores errados para os cálculos determinados.
- Não obedecer ao critério do deslocamento para conectar a pilha no circuito, definido no passo 8, como por exemplo, andar quando deveria correr.

### 5.5. Observações e variações

É interessante que inicialmente se faça uma primeira passagem demonstrativa com a turma, mostrando aos alunos qual a dinâmica do jogo; a fim de se dirimir eventuais dúvidas que possam surgir e, familiarizá-los com as informações e regras que serão utilizadas nos cálculos do jogo. Faz-se importante também, como fator motivacional a critério do professor, definir-se uma premiação para a equipe vencedora, como por exemplo, uma caixa de bombons.

Salienta-se que para o bom andamento da atividade, o professor necessitará ter algum domínio conceitual sobre o assunto abordado na dinâmica, o efeito fotoelétrico, para estar apto a fazer as analogias que ligarão a teoria dessa temática às atividades executadas pelos alunos no desenvolvimento da atividade lúdica.

É interessante o professor ter um tipo de “cartão-resposta”, uma folha com tabelas com as informações dos possíveis resultados, a fim de facilitar a conferência dos cálculos realizados pelos alunos; no item 5.6 serão colocados modelos desse tipo de cartão com as tabelas contendo todas as variações possíveis de resultados, calculados dentro das dinâmicas apresentadas neste trabalho. Destaca-se que para os cálculos foram utilizados as seguintes unidades e aproximações:

- Frequência em Hertz (Hz) e energia em Joules (J)
- $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
- $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

Ressalta-se que, a critério do professor, poderão ser realizadas variações no material e dinâmica da atividade; serão listadas abaixo algumas possibilidades:

- Ao invés das bolas coloridas, pode-se, por exemplo, utilizar bolas de papel, onde estará escrito a cor ou até mesmo a frequência determinada. Caso se tenham as bolas, mas não sejam coloridas, pode-se escrever o mesmo tipo de informação nas mesmas.

- Podem-se utilizar, a critério do professor ou da disponibilidade de recursos, mais ou menos cores para as bolas, mas dentro do espectro visível da luz: violeta, azul, ciano, verde, amarelo, alaranjado e vermelho; destaca-se que em algumas literaturas tem-se a cor anil no lugar da azul e a azul no lugar da ciano. A quantidade total de bolas também pode ser aumentada ou diminuída, mas o ideal é que haja uma distribuição equitativa entre as cores que serão utilizadas.
- No caso de turmas com muitos alunos e ambiente pequeno pode-se realizar a divisão em mais de duas equipes e se fazer disputas alternadas.
- Para se prolongar a duração da disputa, caso de apenas duas equipes com muitos integrantes, basta-se aumentar o número de pilhas a serem conectadas, para isso será necessário se modificar o circuito ou aumentar o número de brinquedos da bancada. Para a situação de se querer diminuir a duração, caso de varias equipes com menos integrantes, é só adotar o procedimento inverso.
- Para o jogo em menores dimensões se poderá ter para o resultado do dado, na definição do número de bolas a serem lançadas, o seguinte: 1 ou 2 – baixa intensidade, uma bola; 3 ou 4 – média intensidade, duas bolas; 5 ou 6 – alta intensidade, 3 bolas. Mas pode-se também utilizar o valor exato obtido no dado como a quantidade de bolas, uma gradação de 1 a 6 para a intensidade luminosa (número de bolas), para que o jogo seja mais rápido.
- A critério do docente pode-se manter os alunos que foram “ejetados” no passo 8, ao invés de haver a eliminação.
- As faixas estabelecidas para energia de liberação para definição dos níveis de velocidade podem variar a critério do professor, mas o ideal é que possa haver uma distribuição que possa contemplar, de maneira considerável, os possíveis resultados; no item 5.6 será apresentada uma tabela modelo com faixas montadas dessa maneira.
- A critério do professor, para turmas mais avançadas (3º ano, por exemplo) no passo 12 pode-se ainda definir que o aluno tenha que calcular o valor da velocidade do elétron ejetado com a função  $v = \sqrt{2K/m_e}$ , ao invés de comparar apenas a energia de ejeção, nesse caso, no cartaz terão que ser

definidas as faixas de velocidade de acordo os valores da mesma e será dado o valor da massa do elétron.

- Para o caso de turma que ainda não tenha noções básicas de alguns conceitos de ondulatória (frequência, comprimento de onda, intensidade), elétrica (elétrons, corrente, energia, carga elétrica) e energia cinética, pode-se utilizar um sistema simplificado para os cálculos, definindo-se valores discretos de energia para as cores e barreiras de liberação, por exemplo, de 1 (mínima) a 4 (máxima), definindo-se também, no mesmo sistema, as faixas de velocidade. No item 5.6 será apresentado um modelo alternativo de cartaz para essa variação.

## **5.6. Modelos, tabelas e ilustrações**

Serão apresentadas, a seguir, tabelas e ilustrações com modelos, criados no desenvolvimento deste trabalho, para serem confeccionados e utilizados no jogo; o padrão pensado nesses esquemas foi o da seguinte situação e dinâmica:

- Sala de aula de tamanho mediano.
- 02 equipes, cada uma, com quantidade de 10 a 15 componentes.
- 24 Bolas de plástico pequenas, divididas em 04 cores (vermelho, amarelo, verde e azul).
- 10 pilhas de 1,5V
- Dois circuitos eletrônicos, cada um composto por 06 LEDs e ativado com 05 pilhas.
- 05 cartões com os valores para as barreiras de saída, cada um com o nome de um metal e a correspondente função trabalho em elétron-volt e joules. Os metais escolhidos foram: cálcio, potássio, sódio, cézio e cézio modificado (este último é hipotético e foi definido por este autor, a fim de se obter uma maior variedade de resultados na dinâmica).
- Para o resultado do dado, na definição do número de bolas a serem lançadas, foi utilizado o seguinte: 1 ou 2 – baixa intensidade, uma bola; 3 ou 4 – média intensidade, duas bolas; 5 ou 6 – alta intensidade, 3 bolas.

Serão apresentadas a seguir, figuras 50 a 61, as ilustrações dos componentes necessários para jogo.

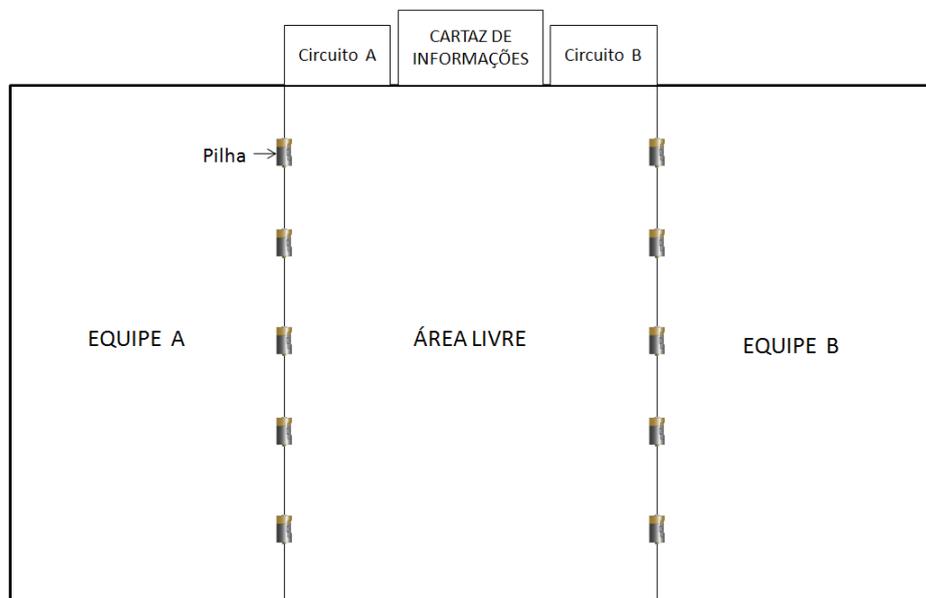


Figura 50: Esquema das delimitações e disposições do jogo.



Figura 51: Bolas de plástico coloridas e recipiente sugeridos para o jogo



Figura 52: Bolas coloridas maiores, sugestão para ambientes maiores e/ou abertos.  
Fonte: [www.bolascanarina.com.br](http://www.bolascanarina.com.br) acessado em 20 de outubro de 2015

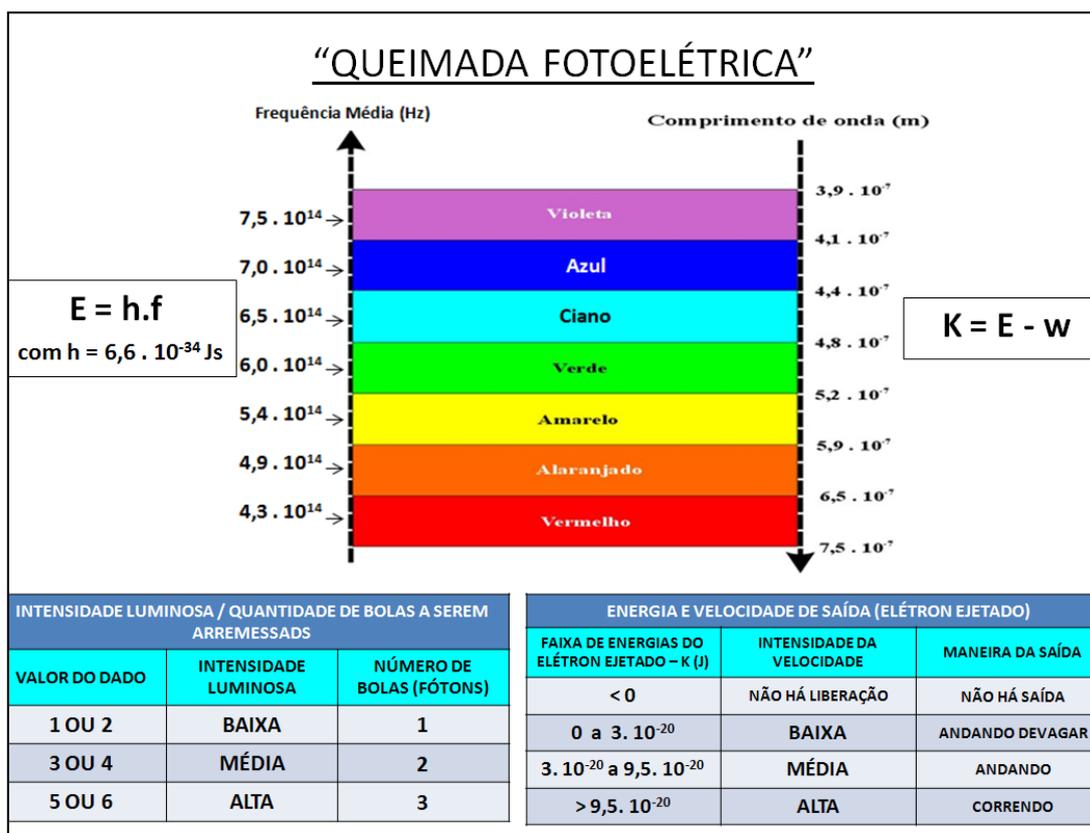


Figura 53: Modelo de cartaz de informações para a dinâmica definida neste item (5.6).

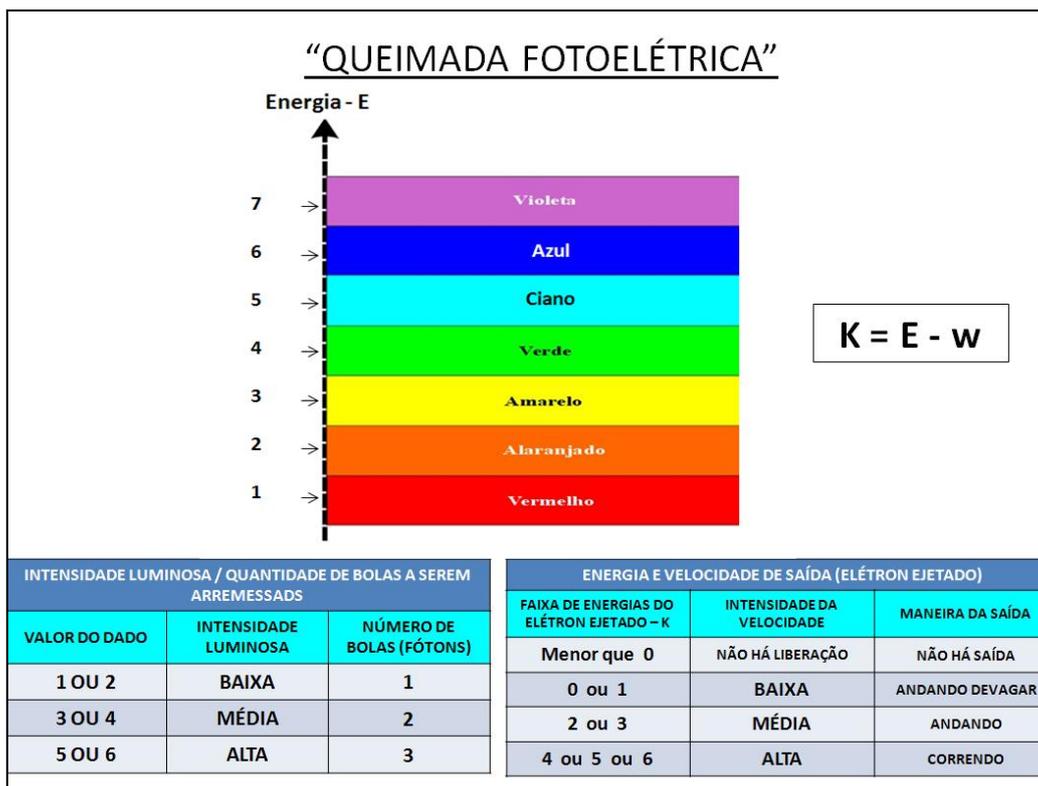


Figura 54: Modelo alternativo de cartaz para a dinâmica simplificada, sem análise de frequência.

<p>ELEMENTO: <b><u>CÁLCIO</u></b></p> <p>ENERGIA DE LIBERAÇÃO (FUNÇÃO TRABALHO): <b><math>46,1 \cdot 10^{-20} \text{ J}</math></b> (2,88 ev)</p>	<p>ELEMENTO: <b><u>POTÁSSIO</u></b></p> <p>ENERGIA DE LIBERAÇÃO (FUNÇÃO TRABALHO): <b><math>36,8 \cdot 10^{-20} \text{ J}</math></b> (2,3 ev)</p>
<p>ELEMENTO: <b><u>SÓDIO</u></b></p> <p>ENERGIA DE LIBERAÇÃO (FUNÇÃO TRABALHO): <b><math>36,5 \cdot 10^{-20} \text{ J}</math></b> (2,28 ev)</p>	<p>ELEMENTO: <b><u>CÉSIO</u></b></p> <p>ENERGIA DE LIBERAÇÃO (FUNÇÃO TRABALHO): <b><math>33,6 \cdot 10^{-20} \text{ J}</math></b> (2,1 ev)</p>
<p>ELEMENTO: <b><u>CÉSIO M</u></b></p> <p>ENERGIA DE LIBERAÇÃO (FUNÇÃO TRABALHO): <b><math>28,3 \cdot 10^{-20} \text{ J}</math></b> (1,77 ev)</p>	

Figura 55: Modelo de cartões com valores para barreira de saída.

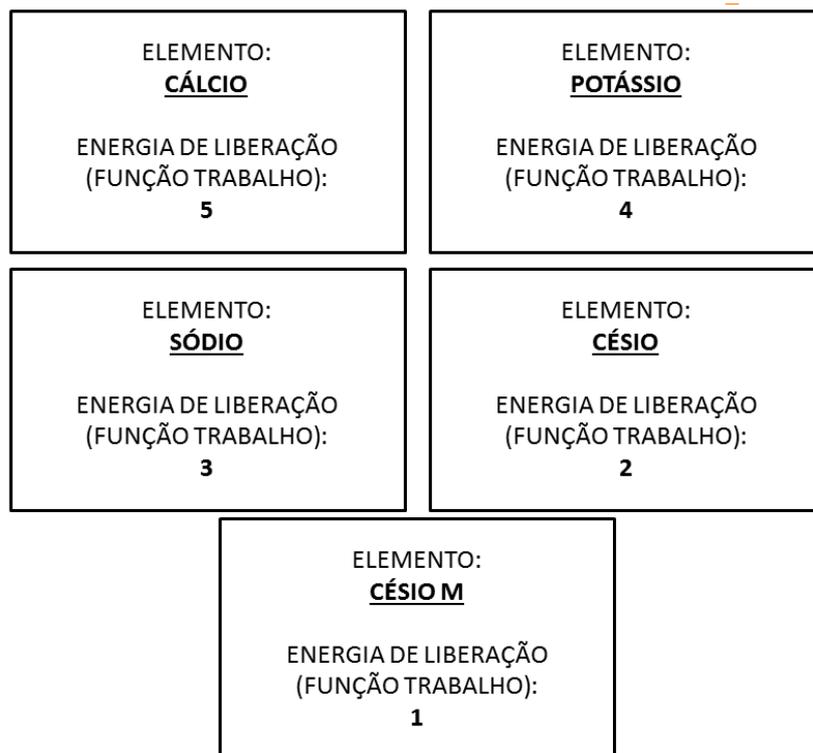


Figura 56: Modelo de cartões com valores para barreira de saída para a dinâmica simplificada.

TABELA DE INFORMAÇÕES PARA OS ARREMESSOS DAS BOLAS (EMIÇÃO DOS FÓTONS)						
COR DA BOLA (FÓTON)	FREQUÊNCIA - f (Hz)	ENERGIA DA BOLA – E (FÓTON) (J)				
<b>AZUL</b>	$7,0 \cdot 10^{14}$	$46,2 \cdot 10^{-20}$				
<b>VERDE</b>	$6,0 \cdot 10^{14}$	$39,6 \cdot 10^{-20}$				
<b>AMARELO</b>	$5,4 \cdot 10^{14}$	$35,64 \cdot 10^{-20}$				
<b>VERMELHO</b>	$4,3 \cdot 10^{14}$	$28,38 \cdot 10^{-20}$				

TABELA DE INFORMAÇÕES PARA A LIBERAÇÃO DOS ALUNOS ATINGIDOS (EJEÇÃO DE ELÉTRONS)						
		ENERGIA DE SAÍDA DO ELÉTRON EJETADO - K (J)				
ELEMENTO	ENERGIA DE LIBERAÇÃO (FUNÇÃO TRABALHO)		COR DA BOLA INCIDENTE (FÓTON)			
	(ev)	(J)	AZUL	VERDE	AMARELO	VERMELHO
CÁLCIO	2,88	$46,1 \cdot 10^{-20}$	$0,1 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO
POTÁSSIO	2,3	$36,8 \cdot 10^{-20}$	$9,4 \cdot 10^{-20}$	$2,8 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO
SÓDIO	2,28	$36,5 \cdot 10^{-20}$	$9,72 \cdot 10^{-20}$	$3,12 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO
CÉSIO	2,1	$33,6 \cdot 10^{-20}$	$12,6 \cdot 10^{-20}$	$6,0 \cdot 10^{-20}$	$2,04 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO
CÉSIO M	1,77	$28,3 \cdot 10^{-20}$	$17,9 \cdot 10^{-20}$	$11,3 \cdot 10^{-20}$	$7,32 \cdot 10^{-20}$	$0,08 \cdot 10^{-20}$

Figura 57: Modelo de cartão-resposta para a dinâmica definida neste item (5.6).

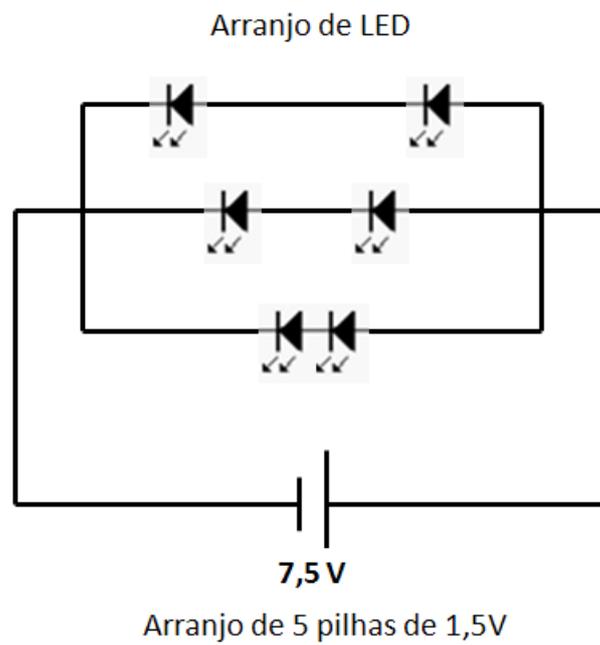


Figura 58: Esquema do circuito montado para o jogo.

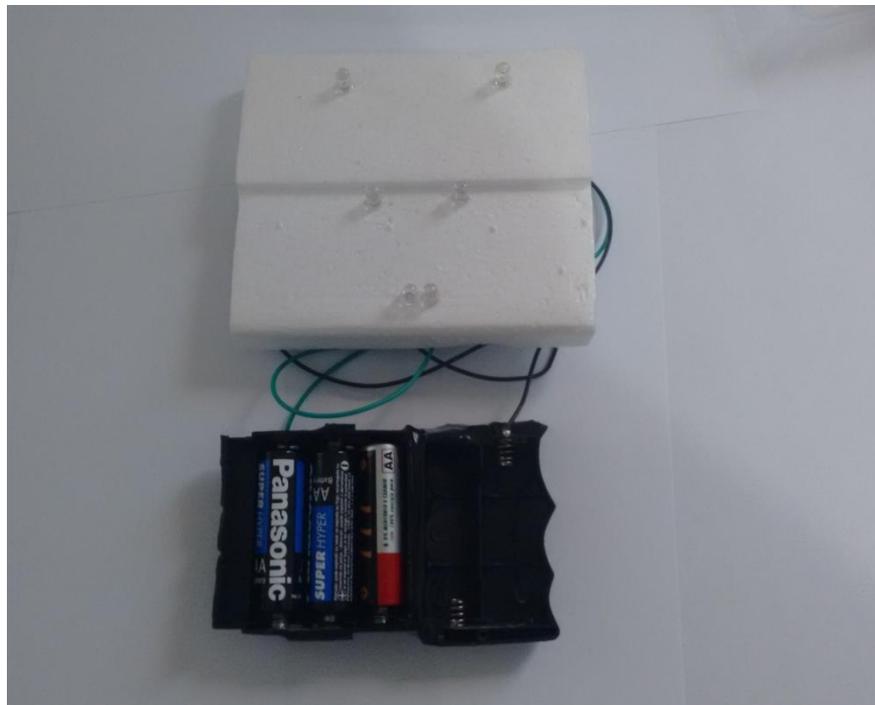


Figura 59: Circuito eletrônico montado para o jogo, vista frontal.

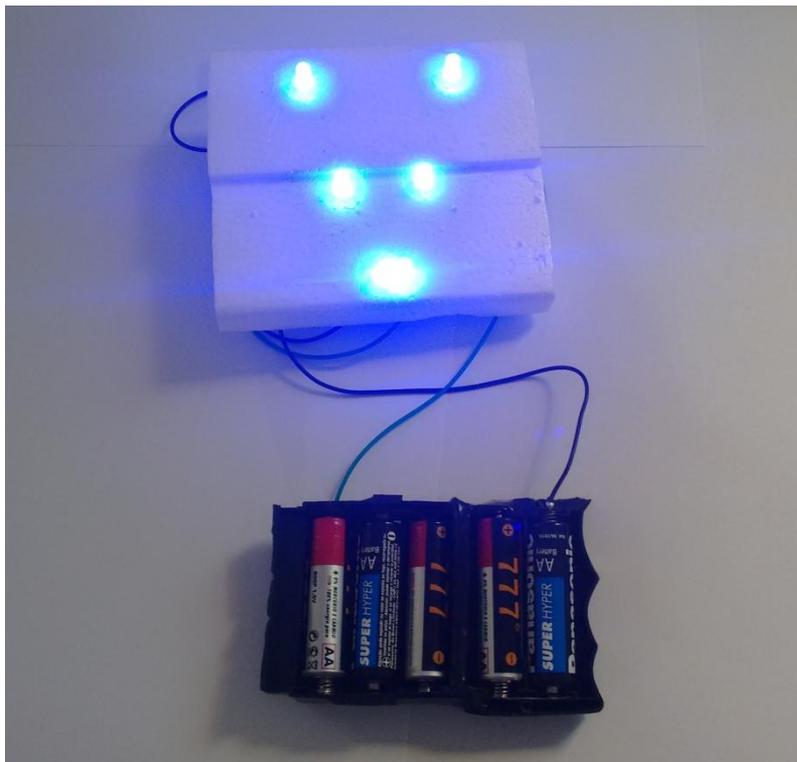


Figura 60: Circuito eletrônico montado para o jogo com todas as pilhas, ativação indicativa da vitória.



Figura 61: Circuito eletrônico montado para o jogo, vista posterior.

Serão apresentados a seguir, figuras 62 a 64, cartaz e cartão-resposta alternativos com tabelas e informações para a possível variação de dinâmica, onde serão utilizadas bolas divididas entre todas as sete faixas de cores do

espectro visível da luz: violeta, azul, ciano, verde, amarelo, alaranjado e vermelho.

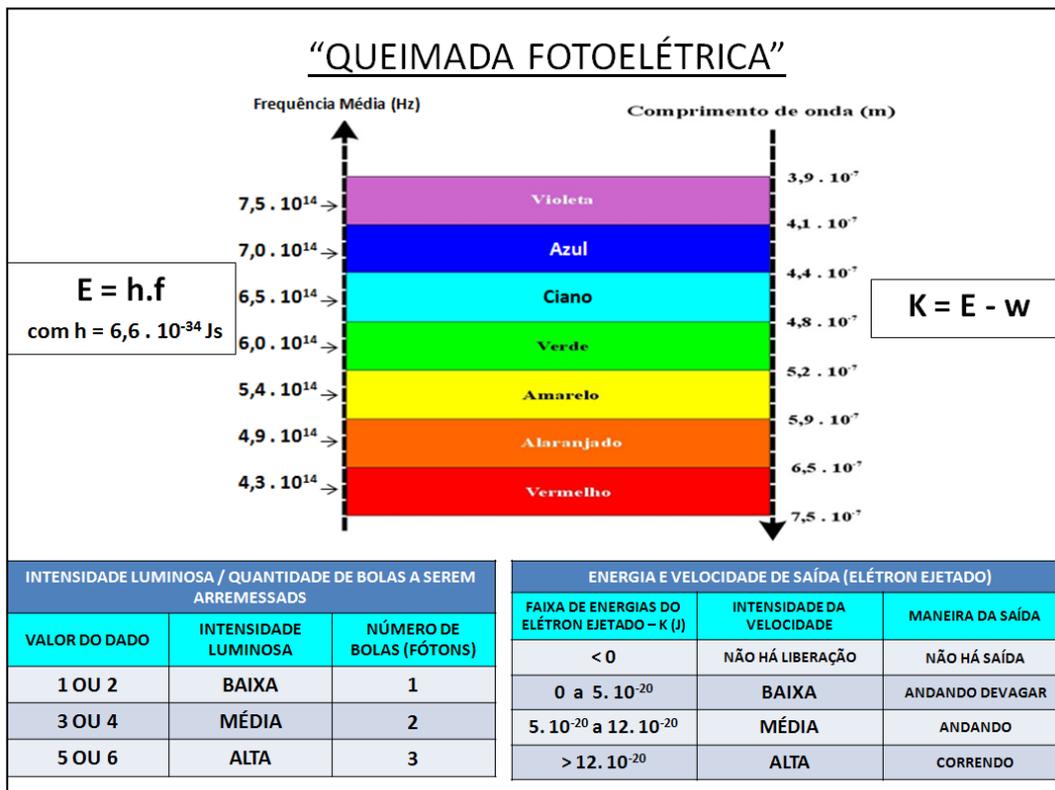


Figura 62: Modelo alternativo de cartaz de informações para a dinâmica utilizando as sete cores.

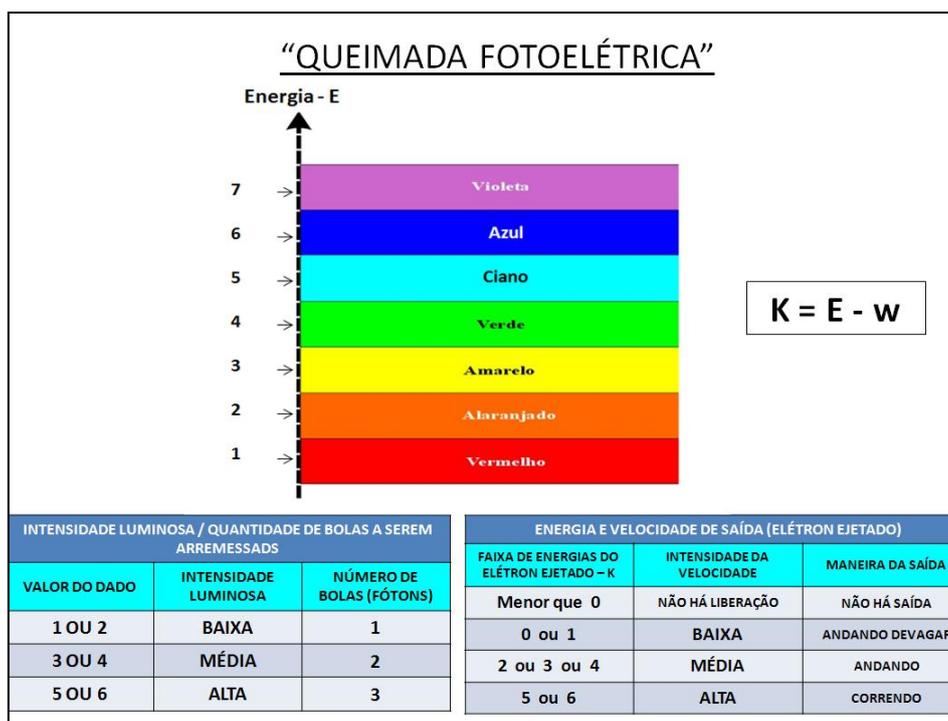


Figura 63: Modelo alternativo de cartaz para a dinâmica simplificada utilizando as sete cores.

TABELA DE INFORMAÇÕES PARA OS ARREMESSOS DAS BOLAS (EMIÇÃO DOS FÓTONS)		
COR DA BOLA (FÓTON)	FREQUÊNCIA - f (Hz)	ENERGIA DA BOLA – E (FÓTON) (J)
VIOLETA	$7,5 \cdot 10^{14}$	$49,5 \cdot 10^{-20}$
AZUL	$7,0 \cdot 10^{14}$	$46,2 \cdot 10^{-20}$
CIANO	$6,5 \cdot 10^{14}$	$42,9 \cdot 10^{-20}$
VERDE	$6,0 \cdot 10^{14}$	$39,6 \cdot 10^{-20}$
AMARELO	$5,4 \cdot 10^{14}$	$35,64 \cdot 10^{-20}$
ALARANJADO	$4,9 \cdot 10^{14}$	$32,34 \cdot 10^{-20}$
VERMELHO	$4,3 \cdot 10^{14}$	$28,38 \cdot 10^{-20}$

TABELA DE INFORMAÇÕES PARA A LIBERAÇÃO DOS ALUNOS ATINGIDOS (EJEÇÃO DE ELÉTRONS)									
		ENERGIA DE SAÍDA DO ELÉTRON EJETADO - K (J)							
		ENERGIA DE LIBERAÇÃO (FUNÇÃO TRABALHO)		COR DA BOLA INCIDENTE (FÓTON)					
ELEMENTO	(ev)	(J)	VIOLETA	AZUL	CIANO	VERDE	AMARELO	LARANJA	VERMELHO
CÁLCIO	2,88	$46,1 \cdot 10^{-20}$	$3,4 \cdot 10^{-20}$	$0,1 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO				
POTÁSSIO	2,3	$36,8 \cdot 10^{-20}$	$12,7 \cdot 10^{-20}$	$9,4 \cdot 10^{-20}$	$6,1 \cdot 10^{-20}$	$2,8 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO
SÓDIO	2,28	$36,5 \cdot 10^{-20}$	$13,0 \cdot 10^{-20}$	$9,72 \cdot 10^{-20}$	$6,42 \cdot 10^{-20}$	$3,12 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO
CÉSIO	2,1	$33,6 \cdot 10^{-20}$	$15,9 \cdot 10^{-20}$	$12,6 \cdot 10^{-20}$	$9,3 \cdot 10^{-20}$	$6,0 \cdot 10^{-20}$	$2,04 \cdot 10^{-20}$	NÃO HÁ LIBERAÇÃO	NÃO HÁ LIBERAÇÃO
CÉSIO M	1,77	$28,3 \cdot 10^{-20}$	$21,2 \cdot 10^{-20}$	$17,9 \cdot 10^{-20}$	$14,6 \cdot 10^{-20}$	$11,3 \cdot 10^{-20}$	$7,32 \cdot 10^{-20}$	$4,02 \cdot 10^{-20}$	$0,08 \cdot 10^{-20}$

Figura 64: Modelo de cartão-resposta para a dinâmica utilizando as sete cores.

Para o caso onde será utilizado o valor exato obtido no dado como a quantidade de bolas a serem lançadas, deverá ser colocada, no cartaz, o que consta na figura 65, uma tabela da intensidade luminosa / quantidade de bolas a serem arremessadas:

INTENSIDADE LUMINOSA / QUANTIDADE DE BOLAS A SEREM ARREMESSADS		
VALOR DO DADO	INTENSIDADE LUMINOSA	NÚMERO DE BOLAS (FÓTONS)
1	MUITO BAIXA	1
2	BAIXA	2
3	REGULAR	3
4	MÉDIA	4
5	ALTA	5
6	MUITO ALTA	6

Figura 65: Tabela alternativa para intensidade luminosa / quantidade de bolas a serem arremessadas

## 6. Conclusão

Conforme citado anteriormente, uma das maiores dificuldades encontradas pelos professores para ensinar Física Moderna e Contemporânea, é a falta de material acessível, agravada pela dificuldade dos alunos em assimilarem a matéria por não possuírem conhecimentos básicos, gerando a desmotivação para a aprendizagem.

A proposta experimental fornece ao professor a possibilidade para a construção de um experimento de baixo custo e fácil montagem, com um design elaborado visando atrair a atenção dos alunos para o desenvolvimento da aula, pois o caráter estético do material chama a atenção, além de ilustrar um acontecimento comum no dia-a-dia dos alunos, visto que os postes de iluminação pública estão presentes em todas as partes do país. O esquema reproduz de maneira satisfatória o efeito fotoelétrico interno, que pode ser utilizado como “ponte ilustrativa” para o efeito fotoelétrico externo; o professor pode ainda aproveitar a situação para explicar o princípio de funcionamento dos LEDs, LDRs, relés fotoelétricos, além de fazer uma revisão sobre circuitos elétricos em série e paralelo, corrente elétrica e resistência, campo magnético, quantização da energia de Planck, radiação de corpo negro entre outros conteúdos. O professor pode assim mostrar aos alunos algo que ocorre no cotidiano, fazendo com que eles possam relacionar a Física que é vista em sala de aula com a aplicação prática nas mais variadas tecnologias utilizadas pela sociedade moderna, favorecendo assim a motivação para o estudo da disciplina e o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa.

A atividade lúdica aqui proposta como recurso didático, visa mostrar a possibilidade de confeccionar, de forma simples, com material acessível, uma dinâmica que utiliza conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea, em uma análise quantitativa dos princípios físicos envolvidos no efeito fotoelétrico externo, que vai desde uma análise da relação entre a frequência, a energia das ondas eletromagnéticas do espectro luminoso visível e energia cinética da ejeção dos elétrons, até a relação entre a intensidade luminosa e a variação da corrente fotoelétrica, podendo também ser aplicado de forma mais simples, apenas qualitativamente, possibilitando nos dois casos uma aplicação prática

de uma teoria, que ao aluno parece ser abstrata. Objetiva-se que ao participar do jogo o aluno absorva o conteúdo de forma prática, proporcionando-lhe a possibilidade de uma aprendizagem significativa, além de promover motivação para querer estudar mais a disciplina de Física Moderna e Contemporânea.

## Referências

ADLER, M.; ZIGLIO E.; **Gazing into the Oracle: The Delphi Method and its Application to Social Policy and Public Health**. London: Jessica Kingsley Publishers, 1996.

AGUIAR, J. S. **Jogos para o ensino de conceitos**. Campinas: Papyrus, 1998, p.33-40.

AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**, Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AXT, R.; MOREIRA, M. A.; Silveira, L. F. Experimentação seletiva e associada à teoria como estratégia para facilitar a reformulação conceitual em Física. **Revista de Ensino de Física**, v. 12, p. 139-158, 1990.

AXT, R.; MOREIRA, M. A. O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo. **Revista de Ensino de Física**, v. 13, p. 97-103, 1991.

BATISTA, M. C.; FUSINATO, P. A.; BLINI, R. B.; PEREIRA, R. F. **A experimentação no ensino de Física e a motivação do aluno para a aprendizagem**. Simpósio Nacional de Ensino de Física, XVIII, 2009.

BORDENAVE, J. D.; PEREIRA, A. M. **Estratégias de ensino aprendizagem**. 29. ed. Petrópolis: Vozes, 1982.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2002.

CASA DAS CIÊNCIAS, disponível em [http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Fun%C3%A7%C3%A3o\\_Trabalho](http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Fun%C3%A7%C3%A3o_Trabalho). Acessado em 29/07/2015.

CAVALCANTE, M.; JARDIM, V.; BARROS, J. Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: Difração de um feixe laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 2: p. 154-169, 1999.

DEMO, P. **Desafios modernos da educação**. Petrópolis: Vozes, 1993.

FERNANDES G. B.; FREITAS, S. A.; PIMENTEL, Y. P. **A Matemática da Eletrônica**. Material de Auxílio ao Estudante de Eletrônica; Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, Novo Hamburgo, p.17, 2012.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Revista Química Nova na Escola**, nº 10, p. 43-49, 1999.

JUNIOR, M. F. R.; CRUZ, F. F. S.; **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Do consenso de temas à elaboração de propostas**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Bauru, 2003.

LAMEU, L. **Efeito Fotoelétrico no Ensino Fundamental: uma proposta à luz da teoria dos campos conceituais**. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino Ciências, Universidade Federal de Itajubá, 2014.

MAURÍCIO, Juliana Tavares. **Aprender Brincando: O Lúdico na Aprendizagem**. 2007, p. 3. Disponível em [http://www.psicopedagogia.com.br/new1\\_opiniao.asp?entrID=678#.UpUgAsRau](http://www.psicopedagogia.com.br/new1_opiniao.asp?entrID=678#.UpUgAsRau) Acesso em 26/07/2015.

MOREIRA, M. A. **Grandes desafios para o ensino da Física na Educação Contemporânea**; Conferência proferida na XI Conferencia Interamericana sobre Enseñanza de la Física, Guayaquil, Equador, julho de 2013 e durante o Ciclo de palestras dos 50 Anos do Instituto de Física da UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, março de 2014. Disponível em [http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas\\_seminarios/seminarios/2014\\_Moreira\\_DesafiosEnsinoFisica.pdf](http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/seminarios/2014_Moreira_DesafiosEnsinoFisica.pdf) em 04/01/2016.

**MUNDO DA ELÉTRICA**, disponível em <http://www.mundodaeletrica.com.br/> acessado em 06/06/2015.

NOVAK, J. D. **Uma teoria de educação**. São Paulo, Pioneira, 1981.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, vol. 4, 1º Ed., São Paulo: Blucher, 1988.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma Revisão Bibliográfica sobre a Área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio; **Investigações em Ensino de Ciências**, vol. 5(1), p. 23-48 Porto Alegre, 2000a.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.; Física Contemporânea en la escuela secundaria: una Experiencia en el aula involucrando formación de profesores **Enseñanza de las Ciências**, 18 (3), p. 391-404, 2000b.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.; **Tópicos de Física Contemporânea na Escola Média: um Estudo com a Técnica Delphi**. Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, 6, 1998, Florianópolis. Atas... Florianópolis, Imprensa Universitária da UFSC, 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de Física na escola de Nível Médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2: p. 135-151, 2001.

PCN – **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Apresentação dos temas transversais e ética. Brasília: MEC/SEF, 1997.

PEREIRA, D. R. O.; AGUIAR, O.; Ensino de Física no Nível Médio: Tópicos de Física Moderna e Experimentação. **Revista ponto de vista**, vol. 3, p. 65-81, 2006.

PEREIRA, J. E. D. **Formação de professores: pesquisas, representações e poder**. Belo Horizonte: Autêntica, 2000.

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas: problema central do desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976, prefácio.

POZO, J. I. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. Porto Alegre: ARTMED, 2002a.

POZO, J. I. **Aprendizes e mestres: a cultura da aprendizagem**. Tradução de Ernani Rosa. Porto Alegre: ARTMED, 2002b.

RICCI, T. S. F.; OSTERMANN, F. **Uma introdução conceitual à Mecânica Quântica para professores do Ensino Médio**. In: Textos de apoio ao professor de Física, n. 14, 71 p. - Instituto de Física/UFRGS. Porto Alegre, 2003

SCHULZ, P. A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 509-512, de 2007.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: Um Experimento para abordar O Efeito Fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 2: p. 313-324, ago. 2012.

TEIXEIRA, C. E. J. **A ludicidade na escola**. 1ª ed. São Paulo: Loyola, 1995.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na Escola de 2º grau. **Catarinense de Ensino de Física**, v.9, n.3: p.209-214, de 1992.

TEZANI, T. C. R. O jogo e os processos de aprendizagem e desenvolvimento: aspectos cognitivos e afetivos. **Educação em Revista**, Marília, v.7, n.1/2, p. 1-16, de 2006

TIPLER, P. A.; LIEWELLYN, R. A.; **Física Moderna**, 3ªed., Editora LTC, 2006, Rio de Janeiro.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, 1998.

**VYA ESTELAR,** disponível em  
[http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica\\_efeito\\_fotoeletrico.htm](http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica_efeito_fotoeletrico.htm).  
Acessado em 06/06/2015.

WEBBER, M. C. M.; RICCI, T. F.; **Inserção de Mecânica Quântica no Ensino Médio: uma proposta para professores.** UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Porto Alegre: 2007.

## Apêndice

### PLANO DE AULA – ATIVIDADE EXPERIMENTAL

#### TEMA: Efeito fotoelétrico e aplicações do cotidiano

##### OBJETIVOS:

- ❖ Conhecer a história do efeito fotoelétrico;
- ❖ Compreender o que é o efeito fotoelétrico;
- ❖ Analisar quais fatores influenciam o efeito fotoelétrico;
  - Compreender a influência da intensidade luminosa;
  - Compreender a influência da frequência;
- ❖ Conhecer as aplicações do efeito fotoelétrico no dia a dia;
- ❖ Proporcionar uma experiência prática para os alunos do funcionamento do efeito fotoelétrico
- ❖ Promover uma maior motivação para a aprendizagem da Física, a partir da contextualização dos conceitos teóricos ao cotidiano prático dos alunos.

##### CONTEÚDO PROGRAMADO:

1. Introdução;
2. História do efeito fotoelétrico;
3. Explicação de alguns conceitos de Mecânica Quântica;
4. Conceitos básicos sobre o efeito fotoelétrico;
5. Influência da intensidade e da frequência no efeito fotoelétrico;
6. Componentes utilizados na experimentação;
7. Funcionamento dos materiais utilizados na experimentação;
8. Breve revisão de conceitos físicos, entre eles, resistores, corrente elétrica, circuitos elétricos em série e paralelo, indução magnética e óptica.
9. Aplicações práticas do efeito fotoelétrico.

##### PROCEDIMENTO METODOLÓGICO:

Aula prática e dialogada utilizando uma atividade experimental sobre o efeito fotoelétrico.

### A. **Introdução:**

Apresentação da proposta de uma aula de Física utilizando uma atividade experimental de baixo custo.

### B. **Desenvolvimento:**

Inicialmente será realizada uma demonstração do efeito fotoelétrico, para isso será usado um circuito elétrico ligado na rede de 220V, após a demonstração haverá uma série de perguntas que serão feitas aos alunos, visando sondar o nível de conhecimento que os alunos possuem acerca do tema, entre elas: “o que fez a luz apagar?”, “por que isso aconteceu?”, “e luz pode apagar luz?”, “mas a luz é um onda ou partícula?”, “qual a relação entre a luz e energia?”, entre outras perguntas.

Passada a demonstração inicial, será apresentada uma pequena aula sobre a história do efeito fotoelétrico e principais conceitos sobre esse tema. Poderão ser abordados, brevemente, desde o tema das “duas nuvens no horizonte da Física Clássica”, passando pela radiação de corpo negro e a quantização de Planck, chegando finalmente na experiência de Hertz e o efeito fotoelétrico. Nesta última parte será focada as contribuições da teoria de Einstein, utilizando uma análise qualitativa, com maior ênfase, e quantitativa das funções por ele propostas.

Após a rápida explanação sobre os principais conceitos referentes ao efeito fotoelétrico, será apresentado aos alunos o novo circuito elétrico, dessa vez, ligado a baterias (baixa tensão). Essa apresentação contará com mais uma demonstração do efeito fotoelétrico, acrescida de uma explicação sobre o funcionamento dos principais componentes do circuito, entre eles pode-se citar o relé e o LDR. Pode-se também fazer uso da montagem multímetro – LDR para se trabalhar analogias da influencia da intensidade luminosa e da faixa de frequência no efeito fotoelétrico, deixando os alunos fazerem uso dos materiais experimentais. Nesta etapa, durante a apresentação do circuito descrito acima, poderá ser realizada uma breve revisão de conceitos físicos, entre eles, resistores, corrente elétrica, circuitos elétricos em série e paralelo, indução magnética e óptica física.

Posteriormente será aberto um espaço para que os alunos possam tirar suas dúvidas. Passado esse período a sala será dividida em dois grupos. O primeiro grupo ficará responsável pela elaboração de um alarme de furto e o segundo grupo ficará responsável pela elaboração de um alarme de invasão, todos os circuitos que forem solicitados aos alunos são montados com materiais análogos aos descritos durante a aula, essa será a atividade destinada à avaliação da aula.

### **C. Conclusão:**

Ao término da aula será realizada uma síntese dos principais conceitos e definições apresentados, também será debatido com os alunos sobre as aplicações práticas cotidianas do efeito fotoelétrico.

### **RECURSOS INSTRUCIONAIS:**

#### **Circuito de 220V**

- 01 Relé Fotoeletrico com Base, 1000W;
- 02 bocais de lâmpada comum;
- 02 lâmpadas incandescentes de 25W;
- 01 plug macho preto 2 pinos;
- 04 metros de fio elétrico 2,5mm;
- 01 fita isolante.

#### **Circuito de baixa tensão**

- 01 LDR;
- 01 relé 12V de 5 pinos;
- 08 LEDs;
- 01 motor 3V (retirado de um brinquedo).
- 01 bateria de 12V;
- 01 bateria de 9V;
- 02 pilhas de 1,5V;
- 04 metros de fio elétrico 0,5mm;
- 01 fita isolante.

### PROCEDIMENTOS AVALIATIVOS:

- ❖ A primeira parte da avaliação será desenvolvida durante a explanação do conteúdo através da participação nos debates e questionamentos;
- ❖ A segunda parte da avaliação consistirá na montagem de alguns circuitos similares ao exemplificado durante a aula: um alarme de furto e um alarme de invasão.
- ❖ A última parte da avaliação, no fechamento da aula, consistirá de um debate aberto com os alunos sobre o que foi aprendido e as aplicações práticas cotidianas do efeito fotoelétrico.

### PREVISÃO DE TEMPO:

- ✓ Entre 60 a 90 minutos

### BIBLIOGRAFIA:

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, 2002.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.; Física Contemporânea en la escuela secundaria: una Experiencia en el aula involucrando formación de profesores **Enseñanza de las Ciências**, 18 (3), p. 391-404, 2000b.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, vol. 4, 1º Ed., São Paulo: Blucher, 1988.

PEREIRA, D. R. O.; AGUIAR, O.; Ensino de Física no Nível Médio: Tópicos de Física Moderna e Experimentação. **Revista ponto de vista**, vol. 3, p. 65-81, 2006.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.9, n.3: p.209-214, de 1992.

**MUNDO DA ELÉTRICA**, disponível em <http://www.mundodaeletrica.com.br/> acesso em 06/06/2015.

**SER PROTAGONISTA**: Física, 1º, 2º e 3º ano: Ensino Médio / obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM; editor responsável Angelo Stefanovits. – 2ª Ed. – São Paulo: edições SM, 2013. – (coleção ser protagonista; 1).

**VYA** **ESTELAR**, disponível em [http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica\\_efeito\\_fotoeletrico.htm](http://www2.uol.com.br/vyaestelar/fisicaquantica_efeito_fotoeletrico.htm) acesso em 06/06/2015.

TIPLER, P. A.; LIEWELLYN, R. A.; **Física Moderna**, 3ªed., Editora LTC, 2006, Rio de Janeiro.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A.M. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro, **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, ago. 1998.