

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL

GLEITON SANTOS MACIEL

PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE TÓPICOS DE
FÍSICA QUÂNTICA ATRAVÉS DO USO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS E DA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE
PLANCK COM LEDs APLICADO AO ENSINO MÉDIO

VITÓRIA

2015

GLEITON SANTOS MACIEL

**PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE TÓPICOS DE
FÍSICA QUÂNTICA ATRAVÉS DO USO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS E DA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE
PLANCK COM LEDs APLICADO AO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Breno Rodrigues Segatto

VITÓRIA

2015

GLEITON SANTOS MACIEL

**PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE TÓPICOS DE FÍSICA
QUÂNTICA APLICADO AO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física do Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ensino de Física.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Breno Rodrigues Segatto
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Luiz Otávio Buffon
Instituto Federal do Espírito Santo
Examinador externo

Prof. Dr. Thiéberson da Silva Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador interno

Profa. Dra. Márcia Regina Pereira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador interno

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por manter-me firme na luta diária.

A minha esposa Thaís que sempre incentivou-me e ajudou-me em tudo, e se não fosse por ela não teria alcançado mais essa conquista.

Ao meu orientador, professor Breno Rodrigues Segatto pelo apoio, compreensão, tolerância, incentivo e cobranças durante a orientação.

A minha mãe Doralice, ao meu pai Antonio, aos meus irmãos e demais familiares pelo apoio e ajuda durante o período desse curso.

Aos professores e coordenador do curso do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Espírito Santo, que foram tão importantes em minha vida acadêmica.

A todos os colegas do Mestrado, pelo companheirismo e suas experiências, profissionais e de vida.

E finalmente a CAPES e a SEDU pelos apoios financeiros.

RESUMO

O ensino de Física é uma área que enfrenta muitas dificuldades em relação ao processo de ensino-aprendizagem no Brasil por motivos variados, desde o contínuo ensino tradicionalista até o pouco investimento científico e tecnológico. Só recentemente tem sido estimulada a inclusão de conteúdos mais atuais nos currículos escolares por meio de orientações da LDB (2000) e dos PCNs (2002), que ressaltam a importância de vinculá-los ao cotidiano do aluno. Tendo em vista a necessidade de novas propostas, esta pesquisa teve por objetivo elaborar uma Sequência Didática sobre tópicos de Física Quântica aplicado ao Ensino Médio por meio de atividades de diferentes estratégias desenvolvidas com alunos de uma escola pública de Vitória – ES. Os dados foram coletados em cinco etapas. Na 1ª foi aplicado um questionário individual para verificar a concepção dos alunos a respeito da Física Quântica. Na 2ª Etapa foi realizada uma aula expositiva sobre o assunto. Na 3ª foi utilizado simulações para apresentação de fenômenos quânticos. Na 4ª Etapa realizou-se um Experimento demonstrando a Constante de Planck. Na 5ª Etapa os participantes responderam individualmente a outro questionário sobre o conteúdo estudado durante as etapas anteriores. Os resultados indicaram que houve um avanço significativo (mais de 50% de acertos) em relação aos conceitos adquiridos sobre Física Quântica. Pôde-se inferir que a sequência didática realizada influenciou positivamente no processo de ensino-aprendizagem. Concluímos que o ensino desse conteúdo pode ser aperfeiçoado mediante as propostas de reforma curricular e da inserção de diversas estratégias de ensino-aprendizagem na prática cotidiana de professores.

Palavras-chave: Física Quântica; Processo de ensino-aprendizagem; Sequência didática.

ABSTRACT

The teaching of Physics is an area that faces many difficulties in relation to the teaching-learning process in Brazil for various reasons, from the continuous traditionalist education to the low scientific and technological investment. Only recently it has been stimulated the inclusion of more current contents in school curricula through LDB guidelines (2000) and PCN (2002), which emphasize the importance of involving them on student's daily life. Given the need for new proposals, this study aimed to develop a Didactic Sequence on topics of Quantum Physics applied to high school through activities of different strategies developed with students from a public school in Vitória – ES. Data were collected in five stages. In the 1st, an individual questionnaire was applied for verifying the conception of the students about Quantum Physics. In the 2nd stage was held a lecture on the subject. In 3rd were used simulations to display quantum phenomena. In Stage 4, was conducted an experiment demonstrating the Planck's constant. In Stage 5, participants answered another individual questionnaire on the content studied during the previous stages. The results indicated that there was a significant improvement (over 50% accuracy) in relation to the concepts acquired on Quantum Physics. It might be inferred that the teaching sequence carried out influenced positively the teaching-learning process. We conclude that the teaching of such content may be enhanced by the curricular reform proposals and inclusion of various teaching-learning strategies in the daily practice of teachers.

Keywords: Quantum Physics; Teaching-learning process; Didactic sequence.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO PRÉVIO E QUESTIONÁRIO FINAL 47

FIGURA 2 - DESCRIÇÃO DOS DADOS DA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK UTILIZANDO LED'S..... 51

FIGURA 3 - CURVA CARACTERÍSTICA DA CONSTANTE DE PLANCK UTILIZANDO LED VERDE..... 52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PERCENTUAL DE ACERTOS EM QUESTÕES SOBRE CONCEITOS DE FÍSICA DE QUÂNTICA	46
TABELA 2 – PERCENTUAL DE ACERTOS EM QUESTÕES SOBRE FÍSICA QUÂNTICA	47
TABELA 3 – VALOR DA CONSTANTE DE PLANCK CALCULADO NO EXPERIMENTO NA TURMA 1.....	53
TABELA 4 – VALOR DA CONSTANTE DE PLANCK CALCULADO NO EXPERIMENTO NA TURMA 2	53
TABELA 5 – VALOR DA CONSTANTE DE PLANCK CALCULADO NO EXPERIMENTO NA TURMA 3	53

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – REVISÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS USADOS NO ENSINO MÉDIO NAS ESCOLAS PÚBLICAS NACIONAIS.....	24
QUADRO 2 - CONCEPÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O CONCEITO DE QUANTIZAÇÃO.....	44

SUMÁRIO

1 INICIANDO UM PERCURSO.....	11
2 INTRODUÇÃO.....	13
3 TEORIA QUÂNTICA: O DESAFIO DE ENSINAR.....	15
4 ESTUDOS BRASILEIROS SOBRE O ENSINO DE FÍSICA.....	20
5 O ENSINO DE FÍSICA, OS PCN E O LABORATÓRIO DIDÁTICO.....	27
5.1 PROPOSTAS DOS PCN PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	27
5.2 LABORATÓRIO DIDÁTICO NO ENSINO DE FÍSICA.....	30
6 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	33
7 OBJETIVOS.....	37
7.1 OBJETIVO GERAL.....	37
7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37
8 MÉTODO.....	38
8.1 PARTICIPANTES.....	38
8.2 INSTRUMENTOS.....	38
8.3 LOCAL.....	38
8.4 EQUIPAMENTOS.....	39
8.5 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	40
8.6 TRATAMENTO DOS DADOS.....	42

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
11 REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICE A – Sequência didática.....	61

1 INICIANDO UM PERCURSO

Minha trajetória profissional na área de Física teve início no período em que eu cursava o quinto semestre de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Viçosa – UFV, situada em Viçosa-MG, antes mesmo de começar a graduação em Física. Foi então, que tive meu primeiro contato como docente, quando fui convidado a lecionar Física como voluntário em um curso de pré-vestibular na comunidade local durante um ano.

Gostei da experiência e também motivado por outras questões, decidi mudar de curso para ser Professor de Física. Assim, prestei novamente vestibular e ingressei na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES em 2005. No entanto, antes de começar a graduação na UFES já trabalhava em uma escola particular de ensino médio de Vitória, onde permaneci por um ano e meio lecionando Física para o ensino médio. Em 2007, 2008 e 2010 lecionei Física e Matemática no curso pré-vestibular Universidade para Todos. Em 2008 fui aprovado no concurso do magistério da Secretaria Estadual de Educação – SEDU, para a qual trabalho como professor efetivo até a presente data.

Nesse tempo de trabalho percebi que os alunos, em sua maioria, acham que “Física é um bicho papão”, “coisa de maluco”, “impossível de aprender”. O sistema de ensino tradicional criou um pré-conceito nos alunos a respeito da Física, visto que a prática adotada atualmente pouco se propõe a mudar o método de ensino-aprendizagem para se adequar ao novo contexto social do aluno. **Minha proposta** é levar novas práticas de ensino-aprendizagem alocando novas tecnologias para a sala de aula, que possam ser somadas ao antigo quadro-negro e com isso desmistificar a ideia que Física é uma disciplina muito difícil e aterrorizante, ampliando a conceituação formada.

Algumas vezes questionei aos meus alunos por que achavam Física tão difícil, e a resposta foi que a Física tinha muitas “fórmulas pra serem decoradas” e tinha que “saber muito de matemática”. É verdade que existem equações (fórmulas) e depende muito da matemática, mas, mais do que isso, Física é apoiada em conceitos, ideias, observações, experiências etc.

Em minhas aulas era comum um aluno ou outro pedir para “dar outro exemplo”, pois com o exemplo que eu tinha dado ele não tinha entendido. Isso acontecia com bastante frequência em quase todos novos assuntos estudados em sala de aula. Na parte de Física Moderna isso era “pior”, pois ficava mais difícil “dar outro exemplo”, devido ao fato de nem tudo, ou quase nada, em Física Moderna poder ser comparado com o cotidiano. Percebi que os alunos têm dificuldade para entender as teorias e acham os exemplos mencionados no livro didático artificiais demais. Em resumo, eles consideram o assunto afastado da realidade. E como professor, o que fazer para encantá-los? Como motivá-los a tal ponto que se interesse no mínimo se quer para Física Quântica?

Como muitos professores fazem, digo aos alunos que será bom para sua vida, terá uma bagagem intelectual maior, vai ajudar a ingressar na universidade, talvez estude esse assunto na graduação e quem sabe usará esses conceitos no dia a dia, ou como um professor ou um pesquisador.

Mas, adolescentes no ensino médio não gostam de respostas do tipo “Você tem que estudar esse assunto X hoje para que seja capaz de estudar o assunto Y quando estiver na faculdade”. Para eles, é muito fácil responder “E se eu não entrar na faculdade? E se eu entrar e nunca estudar o assunto Y, um curso que não tenha Física?”

Nesse sentido, considero importante realizar um Mestrado voltado para o Ensino de Física abordando a Física Moderna, uma vez que, esta problemática é algo vivenciado por vários professores de minha área. Além disso, é uma oportunidade de continuar me qualificando profissionalmente.

2 INTRODUÇÃO

O ensino de Física é uma área que ainda enfrenta muitas dificuldades em relação ao processo de ensino-aprendizagem no Brasil e são inúmeros os motivos que levam a tal dificuldade. Como exemplo, podemos citar a falta de inovação na grade curricular conforme a atualidade cultural e social; o pouco investimento científico e tecnológico; o pequeno interesse por boa parte dos alunos; a descrença dos professores quanto ao ensino; as estratégias de ensino tradicionalistas; entre outras questões.

Diante da evolução rápida dos computadores e das telecomunicações, a sociedade se vê pressionada a acompanhar as mudanças e se adequar ao novo meio. A educação por sua vez, necessita seguir o mesmo caminho. No ensino de Física, mais especificamente, há a necessidade de utilizar essas inovações a seu favor, procurando desmistificar um pré-conceito formado ao longo dos anos. Acreditamos que com o uso adequado de novas estratégias de ensino-aprendizagem podemos melhorar o desempenho de alunos que acham Física uma matéria de difícil aprendizagem (COVOLAN; SILVA, 2005; ZANOTTA; CAPPELLETTO; MATSUOKA, 2011; PIRES; VEIT, 2006).

De acordo com Heckler, Saraiva e Filho (2007) uma escola onde o professor apresenta aulas em quadro negro e giz e se apresenta como o “detentor do conhecimento”, os alunos são visto apenas como receptores de informações e as situações de estudos são distantes das experiências cotidianas, não há um bom ambiente de aprendizagem. A falta de estimulação da criatividade e do pensamento questionador transforma a aprendizagem cada vez mais como sendo decorativa e rasa, pois para a maior parte dos alunos, a física não passa de um conjunto de fórmulas matemáticas a serem memorizadas. Completam ainda,

Em geral, estes alunos não fazem uma conexão entre a física aprendida e o mundo ao seu redor. Entre as causas desse reconhecido fracasso no aprendizado de física está a falta de uma metodologia moderna, tanto do ponto de vista pedagógico quanto tecnológico (p. 267).

Esses fatores somados a redução da carga horária das aulas de Física levam os professores a adotarem uma abordagem superficial dos conteúdos, dando a impressão que Física é muito mais Matemática (PIRES; VEIT, 2006).

Tendo em vista essa realidade, esse trabalho tem como proposta servir de suporte aos professores e despertar a atenção e a curiosidade de estudantes de Ensino Médio no que se refere ao conteúdo de Física Moderna, especificamente sobre Tópicos de Mecânica Quântica (MQ) em uma abordagem conceitual, por meio do uso de estratégias de ensino-aprendizagem diferenciadas das tradicionalistas, considerando que sua eficácia é consequência da atividade prática.

Assim, serão encontrados nos próximos capítulos discussões que auxiliaram na busca da construção dessa proposta. No Capítulo 3, especificamente, abordamos a Teoria Quântica em seus aspectos mais amplos. No Capítulo 4 realizamos uma breve revisão de alguns estudos de Ensino de Física, nos quais podemos constatar que as problemáticas investigadas nessa área estão concentradas no sul do país. Apresentamos também nesse capítulo uma revisão a cerca do conteúdo de Física Quântica dos principais livros didáticos usados recentemente no Ensino Médio na rede pública de ensino em nível nacional.

No Capítulo 5 relacionamos as orientações realizadas pelo Ministério da Educação para a disciplina de Física, além de discutir sobre a importância do Laboratório Didático no cotidiano escolar.

O Capítulo 6 consistiu na apresentação da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2001), que serviu de suporte explicativo para as discussões realizadas a partir da coleta de dados.

No Capítulo 7 foram apresentados os objetivos da pesquisa e no Capítulo 8 a metodologia, na qual foram identificados os equipamentos, os instrumentos e os procedimentos utilizados.

Os dados coletados na pesquisa e a discussão gerada a partir deles foram apresentados no Capítulo 9. As considerações finais encontram-se no Capítulo 10, que expõe algumas questões observadas ao longo do estudo. Por fim, o leitor encontrará um apêndice contendo a sequência didática desse estudo, que poderá ser utilizado separadamente pelo professor como um material didático.

3 TEORIA QUÂNTICA: O DESAFIO DE ENSINAR

"A ciência é a aproximação progressiva do homem com o mundo real"

Max Planck

A física se ocupa das propriedades da matéria, seus aspectos e níveis de organização, e das leis de seu movimento, inclusive transformações, através da medida experimental que visa à formulação dessas leis em linguagem matemática capaz de abranger o maior número possível de fenômenos.

Nos primeiros tempos a Física confundia-se com todo o grupo das ciências da natureza e suas aplicações identificando-se, por seus objetivos últimos, com a filosofia da natureza e, por suas extensões práticas, com os diferentes ramos da técnica.

Segundo o método de abordagem, a Física subdivide-se em física experimental e física teórica. A primeira é uma sondagem das propriedades da matéria, seu movimento e suas transformações mediante observações e medidas dos aspectos quantitativos relevantes. A física teórica, muitas vezes, se vale das observações feitas pela física experimental e as converte em teorias que têm a capacidade de explicar uma gama muito grande de fenômenos observados.

A física teórica enseja a previsão de fenômenos ou comportamentos novos e a formulação da teoria dos instrumentos de medida o que é essencial para os métodos adotados pela física experimental. Os dois tipos de abordagem se acham em todos os campos e divisões da física.

A física atual encontra-se, para facilidade de estudo, dividida em grandes áreas de conhecimento tais como termodinâmica, mecânica clássica, mecânica quântica, eletromagnetismo e outras.

A mecânica clássica, por exemplo, se ocupa das leis do movimento da matéria que se relacionam com as condições impostas pela massa e pelos agentes de movimento: as forças. Elabora relações relativísticas e não-relativísticas do movimento, e não se aplica ao domínio microscópico da matéria.

A mecânica quântica trata das leis do movimento que prevalecem em domínios microscópicos; parte de uma crítica profunda às ideias de mensurabilidade da mecânica clássica, substituindo-as por conceitos novos aplicáveis aos aspectos microscópicos da matéria. Essa mesma crítica é extensível a domínios do eletromagnetismo e da mecânica estatística, constituindo a eletrodinâmica quântica e as estatísticas quânticas, respectivamente.

A origem da mecânica quântica está na constatação de que a física desenvolvida até o século XIX não conseguia explicar certos fenômenos observados, em especial o espectro do comprimento de ondas da radiação emitida por um objeto quente. As dificuldades surgidas foram resolvidas em 1900, pela proposta de Planck de que cada dipolo somente poderia vibrar a determinadas energias, relacionadas à sua frequência, pela equação $E = nhf$, onde h é constante universal; uma frequência de vibração mais alta, por exemplo, teria então uma energia mínima mais alta.

As ideias de Planck nas mãos de Einstein, Rutherford, Bohr, Schrodinger, de Broglie, Heisenberg e Born, ganharam finalmente outras luzes com a edificação de uma nova disciplina, que veio a substituir a mecânica clássica em domínios microscópicos: a mecânica quântica. Essa disciplina é capaz de incorporar simultaneamente aspectos corpusculares e ondulatórios, vinculando matéria e movimento, e seus princípios e métodos ensejam a formulação de uma teoria eletromagnética capaz de acomodar os pontos de vista de Newton e de Huygens sobre a natureza da luz, interpretando acertadamente todos os fenômenos luminosos até hoje conhecidos.

Em domínios subatômicos, as unidades elementares são os elétrons orbitais e os núcleos atômicos. Elétrons são partículas estáveis e até hoje objetos de intensa pesquisa. Os núcleos atômicos estão longe de constituir aquelas unidades indivisíveis e imutáveis de Demócrito. Constituídos de prótons e nêutrons podem ser transformados uns nos outros em reações nucleares ou em processos da radioatividade natural. Os próprios prótons e nêutrons (núcleons) do núcleo atômico não são partículas simples, admitindo também uma subestrutura (os nêutrons são, além disso, instáveis).

A física quântica, estudando os diversos eventos que ocorrem em camadas atômicas e subatômicas com envolvimento de átomos, prótons e pósitrons, se

apresenta como revolucionária uma vez que a constante de Planck apresenta concepções de vanguarda em relação à física clássica. E talvez esse vanguardismo tenha sido o fato pelo qual a física quântica é tão admirada e tão pouco compreendida.

Como o comportamento atômico é tão diferente da experiência ordinária, é muito difícil adquirir familiaridade com o mesmo, ele parece peculiar e misterioso para todos – tanto para o novato quanto para o físico experiente. Mesmo os especialistas não a entendem do modo como gostariam de entendê-la, e é perfeitamente razoável que isso aconteça porque toda a experiência, ou a intuição, humana direta se aplica a objetos em grande escala. (FEYNMAN, 1964, p. 1)

Albert Einstein foi o primeiro físico de renome a utilizar a constante de Planck com sucesso. Em seu artigo de 1905, apresenta a explicação do efeito fotoelétrico juntamente com o conceito de quantum, que, como se sabe, está totalmente fundamentado no princípio de uma natureza quantificada da própria luz.

Apesar de a física quântica ser utilizada com amplo sucesso na explicação e teorização de fenômenos subatômicos é no mundo macroscópico que ela mostra sua importância tecnológica em diversos equipamentos que fazem parte da vida do homem moderno desde o controle remoto da televisão, passando por leitores de DVD até chegar a equipamentos importantes para o diagnóstico médico tais como os que permitem o exame de ressonância magnética.

Os parâmetros curriculares nacionais preconizam que a física quântica não é e não deve ser encarada como algo fora da realidade dos alunos, especialmente dos alunos do ensino médio, com o prejuízo de se formar cidadãos ignorantes de aspectos relevantes da ciência contemporânea.

O ensino da mecânica quântica, a exemplo do que ocorre, com o ensino da Teoria da Relatividade – se apresenta como um grande entrave para os docentes de física que trabalham no ensino médio. Além da conhecida dificuldade que os alunos brasileiros têm com o instrumental matemático, tão necessários para a física; existe ainda o fato de que tanto a Teoria da Relatividade quanto a mecânica quântica trabalham com sistemas de funcionamento da natureza que fogem da experiência humana tais como velocidades bem próximas a da luz e entidades menores que o próprio átomo!

Uma possível alternativa para se desvencilhar desse empecilho educacional seria auxiliar os alunos na construção de novos modelos que fossem mais adequados às características dos mundos quânticos e relativísticos. Mas como fazer isso? Como explicar, por exemplo, onda-partícula e Princípio da Incerteza?

Além de ter que responder a tais questionamentos os professores de Física da atualidade vivenciam o fato de que o sucesso da Física Quântica foi tamanho, enquanto teoria, que praticamente todas as situações existentes na contemporaneidade permitem, em última análise, uma explicação quântica e isso vai desde a produção de laser até a possibilidade do teletransporte. Nesse contexto algum grau de reflexão se faz necessário e ajuda a visualizar possíveis soluções para os questionamentos anteriormente apresentados.

Compreende-se que a teoria quântica alterou a visão do homem a respeito da matéria! Seu impacto foi tão grande quanto o de outras teorias que tiraram o homem do centro do universo; que revelaram o poder do inconsciente; e que falam de evolução e não apenas de criacionismo.

Observa-se que quase nada faz supor que nosso planeta esteja se movendo e, no entanto ele se move a espantosa velocidade ao redor do Sol. Dificilmente os antigos imaginariam nosso planeta como uma esfera e, no entanto, é assim que ele se apresenta apesar de muitas civilizações antigas o representarem como plano. Nessa perspectiva, nem sempre, os sentidos do homem comum são suficientes para mostrar a verdadeira realidade da natureza.

Os modelos atômicos, por exemplo, foram construídos e sendo aperfeiçoados de acordo com experimentos, reflexão e cálculos matemáticos. Os últimos modelos já se pareciam bastante com o Sistema Solar. Os elétrons eram como planetas que giravam em torno do núcleo atômico. E aparentemente nada, ou quase nada, faria pensar que um elétron não pudesse ficar a uma distância qualquer do núcleo assim como os planetas ficam a uma distância qualquer de sua estrela. Mas a verdade é que não podem! Podem, isto sim, ficar a distâncias bem delimitadas, e além disso, nem sequer têm uma trajetória em circular ou elíptica pura e sua posição em dado instante tem muito mais a ver com a probabilidade do que com uma medida direta (que afetaria sua posição).

Dizer que o mundo subatômico é quântico equivale a dizer que seus fenômenos são matematicamente discretos. Assim, os elétrons não poderão estar a uma distância qualquer do núcleo, mas a distâncias quantificadas e relacionadas com frequência e a quantidade de energia liberada e/ou absorvidas. Na realidade, os cálculos, mostram que há lugares verdadeiramente proibidos para a localização de elétrons em torno do núcleo atômico. Uma imagem muito mais condizente com a dos elétrons em torno do núcleo é algo semelhante às ondas sonoras dos instrumentos musicais. E da mesma maneira que uma corda de violão, por exemplo, vibra numa determinada frequência, e múltiplos da frequência, também os elétrons “giram” em órbitas que são como que ondas ou múltiplos de ondas inteiras.

4 ESTUDOS BRASILEIROS SOBRE O ENSINO DE FÍSICA

Quando falamos da ciência Física nos remetemos a um campo do conhecimento bastante investigado desde os tempos antigos. Os fenômenos relacionados a essa ciência sempre foram objetos de muita inquietação entre os estudiosos e pesquisadores visto que suas relações e propriedades estão em constante interação com o meio. Mesmo no período a.C. já havia renomados filósofos que discutiam fenômenos físicos, tais como Aristóteles, Arquimedes, entre outros. No entanto, o Ensino de Física é uma área bastante recente, necessitando de aprimoramentos, sobretudo devido ao constante surgimento de novas tecnologias. Neste caso, a pesquisa é uma ferramenta eficaz para melhor investigar e implementar novas práticas de ensino-aprendizagem.

Realizando uma breve revisão bibliográfica de estudos brasileiros que investigam questões voltadas para o Ensino de Física na plataforma Scielo utilizando o descritor “ensino de física”, percebemos que essa tem sido uma preocupação central, mais pouco divulgada entre os vários cursos de graduação em Física existentes no Brasil, pois os grupos de pesquisa estão concentrados no sul do país.

Covolan e Silva (2005) afirmam que buscar uma prática pedagógica voltada para um aprendizado mais significativo e também criativo é uma necessidade apresentada quando consideramos a crescente insatisfação com o ensino tradicional, uma vez que conteúdos são ensinados de forma acrítica e apática, valorizando a memorização de fórmulas e tornando o aluno como um mero ser passivo de conhecimento. Porém, professores têm encontrado grandes dificuldades em elaborar estratégias de ensino e levá-las para a sala de aula. O que parece que no campo teórico a questão é mais facilmente resolvida do que no campo prático.

Neste estudo Covolan e Silva (2005) apresentaram como proposta algumas atividades, organizadas dentro de um mini-curso, realizadas em sala de aula com o objetivo de proporcionar aos estudantes um aprimoramento de suas concepções acerca da temática Entropia, na tentativa de subsidiar o trabalho docente. Os resultados mostraram que 7 dos 10 alunos do nível médio de ensino melhoraram a

concepção de Entropia, mas o estudo precisa ser ampliado para afirmar que o aprendizado tenha se tornado sólido cognitivamente.

Outro estudo que teve como proposta o aprimoramento do ensino-aprendizagem em Física foi realizado por Zanotta, Cappelletto e Matsuoka (2011). Estes autores consideram que ensinar a partir de aplicações práticas e derivadas da Física Moderna motivam os estudantes e proporcionam discussões a respeito das relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Muitos alunos consideram as aulas experimentais interessantes e motivadoras. Da mesma forma, a contextualização do ensino pelo uso de elementos do cotidiano potencializa a aprendizagem, na medida em que dá sentido ao conhecimento físico, tornando-o intrinsecamente estimulante e prazeroso (ZANOTTA; CAPPELLETTO; MATSUOKA, p. 2313-2, 2011).

A partir dessas considerações, os autores desenvolveram um suporte conceitual e pedagógico para o entendimento do Sistema de Posicionamento Global – GPS, a partir das teorias físicas que embasam seu funcionamento para alunos de graduação em Física.

O estudo realizado por Lunkes e Filho (2011) identifica outro problema derivado da questão do estilo tradicionalista do ensino de Física. De acordo com esses autores existem 50 mil vagas para professores de Física distribuídas em todo o país conforme relatório de 2007 emitido pela Câmara de Educação Básica, do Conselho Nacional de Educação, do Ministério da Educação e Cultura – MEC. E, apenas 9% dos professores em exercício no magistério desta disciplina possui graduação na área. O que levou ao questionamento das possíveis causas para o desinteresse dos jovens em relação à carreira docente em Física. Os resultados mostraram que os estudantes começam o Ensino Médio sem expectativas elevadas, mas com gosto pelo ensino de ciências, e saem dele com baixo interesse pela carreira docente em Física, devido à ênfase em matemática, a pouca aplicação cotidiana dos conteúdos estudados e a baixa valorização social do magistério.

Seguindo a linha de investigação, Martins, Verdeaux e Sousa (2009), utilizaram diagramas conceituais no ensino de Física junto a aulas expositivas e demonstrativas visando promover a aprendizagem significativa de conteúdos de ondulatória, acústica e óptica para alunos do Ensino Médio. Os resultados indicaram que os conceitos elaborados pelos participantes foram superiores em relação a

diagramas anteriores, além disso, estes demonstraram bastante interesse pela tarefa.

Outro trabalho sobre estratégias de ensino-aprendizagem foi desenvolvido por Pires e Veit (2006), no qual descrevem uma experiência didática em que foi introduzido o uso de Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física em nível médio com o objetivo de ampliar as possibilidades de produzir ganhos na aprendizagem dos estudantes. Averiguou-se que os estudantes participaram muito mais das aulas de Física do que em outras disciplinas que mantiveram a forma tradicional de ensino.

Buscando também contribuir para o avanço em ensino de Física, Heckler, Saraiva e Filho (2007), por sua vez, desenvolveram e aplicaram um CD-ROM de óptica para o Ensino Médio, abrangendo todos os conteúdos usualmente vistos nessa temática. O material contém textos didáticos, 77 animações e 64 imagens geradas pelos autores, assim como 13 simuladores (Java Applets) disponíveis na internet.

Mas infelizmente, no nível médio, em muitas escolas, a Física ainda vem sendo ensinada conforme metodologias estabelecidas no final do século XIX. Quando muito, os estudantes aprendem a resolver problemas da física newtoniana. Numa escola mais “exigente”, possivelmente aprenderão alguns princípios da física dos séculos XX e XXI.

Só recentemente, tem sido estimulada a inclusão de conteúdos mais atuais nos currículos escolares. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) (2000) propõe, por exemplo, para o ensino médio destaque à educação tecnológica básica, compreensão do significado da ciência, domínio dos princípios científicos que presidem a produção moderna. Em “Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias”, área em que está inserida a Física, os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs (2002) ressaltam que a organização dos conteúdos devem vincular-se ao cotidiano do aluno, apesar de manter a tradicional lista de conteúdos a serem trabalhados no Ensino Médio.

Mesmo em relação aos conteúdos de Física Clássica podem ser aplicados novas metodologias, como no caso exibido na pesquisa de Araújo, Veit e Moreira (2004), na qual foram analisadas as principais dificuldades de estudantes na interpretação

de gráficos da Cinemática e então propostos dois subprodutos voltados para a superação destas. Os subprodutos foram relacionados a um conjunto de atividades de modelagem computacional complementares às atividades tradicionais de ensino da Cinemática, mostrando que tanto a cinemática como os demais conteúdos de Física podem ser desenvolvidos de diversas formas com a apropriação adequada de recursos tecnológicos.

No que se refere aos conteúdos de Física Moderna, há uma crescente preocupação com sua inserção no Ensino Médio nos últimos anos. De acordo com Domingui (2012), vários estudos foram produzidos com o intuito de aproximar esse conhecimento dos alunos da educação básica. Por se aproximar bastante do objetivo proposto nesse estudo, destacamos o estudo de Cardoso e Dickman (2012), no qual os autores relatam o processo de elaboração e aplicação de uma sequência de atividades que usam de simulações computacionais para o ensino do efeito fotoelétrico com base nos conceitos da teoria de Ausubel. A sequência teve cinco etapas desenvolvidas com uma turma do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola particular: pré-teste; organizadores prévios; aplicação da simulação com roteiro de estudo; organizador explicativo; teste final. Os resultados do estudo indicou que houve um entendimento melhor dos alunos em relação aos conceitos relacionados ao fenômeno.

Em relação à Física Quântica, especificamente, nota-se seu estudo nos principais livros didáticos usados recentemente no Ensino Médio em nível nacional nas escolas públicas, conforme ilustrado no Quadro 1, uma vez que os conteúdos programados se configuram como presença constante no cotidiano das pessoas em objetos tais como o mouse, o leitor de código de barras, o cd player, o sensor de portas, o medidor de distância, a transmissão de dados, etc.

Podemos verificar, de acordo com a descrição do Quadro 1, que existem 13 livros didáticos que podem ser adotados pelo professor, sendo todos lançados no ano de 2013 e compostos de três volumes. Sete deles apresentam o conteúdo de Física Quântica na unidade 4, os demais variam entre as unidades 1, 2, 3 e 6. E somente um, da autoria de Artuso e Wrublewski (2013), não trata de conteúdos acerca da Física Quântica.

Quadro 1 – Revisão dos livros didáticos usados no Ensino Médio nas escolas públicas nacionais (continua).

TÍTULO	AUTORES	VOL	COLEÇÃO	EDITORA	MECÂNICA QUÂNTICA	UNIDADE
COMPREENDENDO A FÍSICA	Gaspar	3	Tipo 1	Ática 2ª ed 2013	SIM	Unid 4 (Física Moderna): Relatividade; Origens da Física quântica; A nova Física.
FÍSICA	Artuso; Wrublewski.	3	Tipo 2	Positivo 1ª ed 2013	NÃO	
FÍSICA - CONCEITOS E CONTEXTOS: PESSOAL, SOCIAL, HISTÓRICO	Pietrocola; Pogibin; Andrade; Romero.	3	Tipo 2	FTD 1ª Ed 2013	SIM	Unidade 3: RADIÇÃO E MATÉRIA - A natureza da luz; Estrutura da matéria.
FÍSICA	Piqueira; Carron; Guimarães.	3	Tipo 1	Ática 1ª ed 2013	SIM	Unidade 4: O muito pequeno e o muito grande- Os pilares da Física moderna; Física nuclear; Cosmologia e partículas elementares.
FÍSICA AULA POR AULA	Barreto	3	Tipo 2	FTD 2ª ed 2013	SIM	Unid 6: Física Moderna-Teoria da Relatividade; Física Quântica; Física Nuclear.
FÍSICA CONTEXTO & APLICAÇÕES	Alvarenga	3	Tipo 1	Scipione 1ª ed 2013	SIM	Unid 4: Física contemporânea Teoria da relatividade e Física quântica
FÍSICA	Bonjorno Clinton Prado; Casemiro; Bonjorno; Bonjorno.	3	Tipo 2	FTD 2ª ed 2013	SIM	Unidade IV - Física Moderna: Teoria da relatividade restrita; Física quântica; Radioatividade
FÍSICA INTERAÇÃO E TECNOLOGIA	Gonçalves Filho; Toscano.	3	Tipo 2	Leya 1ª ed 2013	SIM	Luz: Partícula ou Onda? Tópicos da Física Moderna; Especulando o espectro (projeto)

Quadro 1 – Revisão dos livros didáticos usados no Ensino Médio nas escolas públicas nacionais (conclusão).

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO	Fuke; Yamamoto.	3	Tipo 2	Saraiva 3ª ed 2013	SIM	Unidade 4 - Física Moderna: Teorias da Relatividade; Teoria Quântica; Física Nuclear
FÍSICA	Doca; Bôas; Biscuola.	3	Tipo 2	Saraiva 2ª ed 2013	SIM	Unidade 4 – Física Moderna: Noções de Física Quântica; Mais de Física Moderna: Relatividade e outras noções.
QUANTA FÍSICA	Kantor; Paoliello Jr.; Menezes; Bonetti; Canato Jr.; Alves.	3	Tipo 1	Pearson 2ª ed 2013	SIM	Unidade 1 – Radiações, Materiais, Átomos e Núcleos Unidade 2 – Toda a Física Hoje e Através de Sua História
SER PROTAGONISTA FÍSICA	Stefanovits	3	Tipo 2	Edições SM 2ª ed 2013	SIM	Unidade 3 - Física moderna- A Física do “muito pequeno”; A Física do “muito grande”.
CONEXÕES COM A FÍSICA	Martini; Spinelli; Sant’Anna.	3	Tipo 2	Moderna 2ª ed 2013	SIM	Unidade 4: Questões de Física do séc. XXI - A teoria da relatividade restrita; Elementos de Mec. Quântica; Desafios da Física no séc. XXI.
FÍSICA CIÊNCIA E TECNOLOGIA	Torres; Ferraro; Soares; Penteado.	3	Tipo 2	Moderna 3ª ed 2013	SIM	Unidade II: Física moderna e contemporânea- Relatividade especial; Física Quântica; Física Nuclear; Tecnologia das comunicações

Tendo em vista que os trabalhos indicam a necessidade e dificuldade de inserir na prática novas metodologias de ensino-aprendizagem, a proposta desta pesquisa é elaborar um material instrucional para professores contendo uma Sequência Didática sobre Física Quântica, com ênfase na *teoria quântica* e destaque ao

conceito de quantização, que possibilite uma interação mais amistosa entre a teoria, a prática, o ensino e o aluno.

5 O ENSINO DE FÍSICA, OS PCN E O LABORATÓRIO DIDÁTICO

5.1 PROPOSTA DOS PCN PARA O ENSINO DE FÍSICA

O ministério da Educação, juntamente com a Secretaria de Educação Básica, tem como principal preocupação a formação inicial e continuada dos jovens cidadãos. Visando tal preocupação, formulou o **PCN – Programa Curricular Nacional**, um material que contém conteúdos e procedimentos didático-pedagógicos de cada disciplina especificamente com objetivo de facilitar e orientar o trabalho da escola e dos professores, bem como de todos aqueles envolvidos com a educação. Com isso, a secretaria de Educação Básica procura incentivar toda a comunidade escolar para que a prática cotidiana seja objeto de reflexão permanente, criando assim, uma cultura de formação contínua dos profissionais.

É importante salientar que os PCN são propostas de um projeto pedagógico que deve ser adaptado e discutido dentro da realidade de cada escola, necessitando assim de uma reorganização coletiva dos envolvidos para decidir os rumos que a instituição pretende seguir. Dessa forma, a proposta e característica principal deste documento é orientar, mas também possibilitar diversificar parte do currículo de acordo com o ambiente: “a escola poderá inovar e se identificar com seu ambiente, e fazer com que seus alunos a reconheçam, identificando-se com ela” (Orientações, 2008, p. 55). A partir dessa possibilidade, cada escola pode formular e executar um currículo que a identifique, buscando sempre superar práticas de conhecimentos construídos sem o estabelecimento de uma reflexão com a práxis social. Assim, pensar o currículo nessa perspectiva é levar em consideração as relações no interior da escola, seu modo de organização e gestão, a participação da comunidade e a identidade dos estudantes.

Além das orientações e discussões que os PCN disponibilizam para os professores, existe a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB (nº 9.394/96), que preconiza:

como princípios do ensino a “liberdade de aprender, ensinar, pesquisar e divulgar a cultura, o pensamento, a arte e o saber”, o “pluralismo de ideias e de concepções pedagógicas”, o “respeito à liberdade e apreço à tolerância”, a “garantia do padrão de qualidade”, a “valorização da experiência extra-escolar” e a “vinculação.

No que diz respeito à etapa final da educação básica, o ensino médio, a LDB (Lei nº 9.394/96) descreve as seguintes finalidades:

- 1) A consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento dos estudos;
- 2) A preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;
- 3) O aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;
- 4) A compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Em relação ao projeto de ensino, é constituído por um conjunto de regras, implícitas e explícitas, que determinam as obrigações e as responsabilidades dos professores e dos alunos. Nesse sentido, existem alguns fatores que influenciam nessa interação:

- (a) O professor: o conteúdo, os outros colegas de profissão, do ambiente de trabalho, dos seus valores, concepções;
- (b) O aluno: depende do contexto social, das suas expectativas, da sua relação com os professores, com o conteúdo e seus saberes individuais.

Além disso, existem três componentes interdependentes que estão diretamente relacionados ao projeto de ensino e que muito influencia na ação didática: a interação didático-pedagógica, as estratégias de aprendizagem, a elaboração de conteúdos e metodologias.

Todas essas questões, fatores e regras até então expostos se referem ao ensino como um todo. Em relação ao ensino de Física especificamente, seu principal compromisso curricular durante o ensino médio está vinculado à possibilidade de compreensão do mundo, embora esse fator não seja suficiente para que os alunos tenham interesse nessa disciplina (Orientações, 2008). O que pode ser justificado pela maneira artificial que são tratados os problemas a serem estudados. Por essa questão, a orientação que o ministério da educação faz é que essa disciplina seja pensada como um processo composto por situação, problema e modelo. Sendo assim,

a utilização do conhecimento físico na interpretação, no tratamento e na compreensão de fenômenos mais complexos deveria ser entendida também como “conteúdo” indispensável, pois ao mesmo tempo em que se possibilita a aquisição de competências, demonstra a potencialidade de trabalhar conteúdos mais abstratos da Física, de modo que o conhecimento dos fenômenos da realidade passa necessariamente pela abstração (Orientações, 2008, p. 53).

Para despertar o interesse dos alunos para essa disciplina o professor deve ainda assegurar a possibilidade da investigação e do questionamento dos fenômenos e problemas, a fim de que não se reduza o conteúdo a um amontoado de fórmulas e informações desarticuladas. A principal pergunta então deve ser assim: “como as coisas funcionam?”. Desse modo espera-se que o professor de Física faça escolhas bem feitas de conteúdos significativos. Para facilitar a visualização desses conteúdos, os PCN sugerem um conjunto de temas e unidades temáticas que associam as competências expostas anteriormente necessárias para a continuação dos estudos do aluno e indicam a inserção de novas práticas pedagógicas. Os temas sugeridos são os seguintes (Orientações, 2008, p. 57):

Tema 1 – Movimento, variações e conservações (unidades temáticas: fenomenologia cotidiana, variação e conservação da quantidade de movimento, energia e potência associadas aos movimentos, equilíbrios e desequilíbrios);

Tema 2 – Calor, ambiente e usos de energia (unidades temáticas: fontes e trocas de calor, tecnologias que usam calor: motores e refrigeradores, o calor na vida e no ambiente, energia: produção para uso social);

Tema 3 – Som, imagem e informação (unidades temáticas: fontes sonoras, formação e detecção de imagens, gravação e reprodução de sons e imagens, transmissão de sons e imagens);

Tema 4 – Equipamentos elétricos e telecomunicações (unidades temáticas: aparelhos elétricos, motores elétricos, geradores, emissores e receptores);

Tema 5 – Matéria e radiação (unidades temáticas: matéria e suas propriedades, radiações e suas interações, energia nuclear e radioatividade, eletrônica e informática);

Tema 6 – Universo, Terra e vida (unidades temáticas: Terra e sistema solar, o universo e sua origem, compreensão humana do universo).

A partir dessa proposta espera-se ampliar os objetivos educacionais para além das exigências dos livros didáticos, das notas trimestrais e dos exames vestibulares. Pretende-se assegurar uma formação geral capaz de proporcionar ao aluno condições à instrução científica e de participação ativa em seu mundo.

Portanto, o ensino de Física deve contemplar um currículo sistematizado, visando trabalhar os conceitos e definições, princípios e leis, modelos e teorias, fenômenos e processos de forma a compreender a importância dessa disciplina como um conhecimento científico presente no cotidiano de qualquer pessoa.

5.2 LABORATÓRIO DIDÁTICO NO ENSINO DE FÍSICA

Ensinar Física requer um grande leque de estratégias didáticas, exigindo do professor a busca constante de melhorias no modo de dialogar/ interagir com os alunos. No entanto, é comum, como assinala Séré, Coelho e Nunes (2003), utilizar a maneira tradicional de ensinar, na qual o aluno não tem que discutir. Os autores completam dizendo: “um experimento pode ser concebido considerando-se diferentes abordagens, ele [o aluno] aprende como se servir de um material, de um método; a manipular uma lei fazendo variar os parâmetros e a observar um fenômeno” (p. 31). Nesse sentido, o laboratório didático constitui um dos meios facilitadores do processo de ensino-aprendizagem.

De acordo com os PCNs (2002), o laboratório didático tem como principal objetivo proporcionar ao aluno atividades experimentais que permitam desenvolver competências e habilidades tais como: investigar, avaliar, analisar, concluir, formular ideias, antecipar, entre outras. Todas essas ações promovem a interação entre o objeto de conhecimento (disciplina de Física) e o aluno. É relevante dizer que para que essa interação ocorra, a realização desses experimentos deve integrar a realidade do aluno e a ciência. Ou seja, o professor deve criar situações nas quais a aquisição do conhecimento científico estabeleça ligação com o cotidiano do aluno. Assim ele terá a possibilidade de observar, medir, manipular, discutir, tirar suas dúvidas a respeito do objeto em questão.

Segundo este documento, a experimentação permite ao aluno a tomada de dados significativos, abstraindo descobertas que permitem conduzir outras experiências

não realizadas, isso porque as operações intelectuais utilizadas durante a ação diferem das necessárias para a resolução de problemas no papel e quando somadas se complementam.

Como bem colocado por Carneiro (2007), “por trabalhar com uma metodologia diferente, utilizando materiais concretos, seu papel como facilitador da aprendizagem pode ajudar no entendimento de conceitos mais abstratos, como no caso da Física” (p. 43).

Atualmente encontra-se disponível na literatura um grande número de estudos sobre a importância e o papel que o laboratório didático tem na formação de alunos e professores do Ensino Médio, mostrando quão variável é essa ferramenta no processo de ensino-aprendizagem. Mesmo assim, de acordo com Grandini e Grandini (2008), ainda nota-se uma resistência por parte de alguns docentes quanto à utilização das atividades práticas em sala de aula.

Por outro lado, não há dúvidas que o laboratório didático propicia ao aluno a vivência e o manuseio de ferramentas que o levará ao conhecimento de diversos tipos de atividades.

Um dos motivos de tal resistência

se dá em decorrência da própria formação, falha e fragmentada, pois o professor não possui subsídios necessários para o desenvolvimento de atividades específicas, as quais exigiriam muito mais conhecimentos do que adquiriu enquanto aluno (GRANDINI, 2008, p.3).

Complementando essa informação, Santos e Castilho (2008), ao investigar e analisar os laboratórios didáticos das escolas públicas de Ensino Médio de Palmas – TO, encontraram em seus dados que 80% das escolas não possuem laboratório de Física, sendo que as instituições que possuem dividem o espaço com o laboratório de Matemática. Além disso, relatam que a experimentação é raramente explorada em toda sua potencialidade. E para agravar a situação, ainda existe a falta de investimento nas escolas por parte do governo estadual.

Em relação aos tipos de laboratórios didáticos, existem três tipos, o laboratório didático de demonstração (LDD), o de ilustração (LDI) e o de problematização (LDP). Conforme descreve Carneiro (2007), no LDD as atividades normalmente são realizadas num espaço físico preparado para este fim e os alunos se dividem em

grupos com um roteiro definido previamente pelo professor da prática a ser realizada, por isso é considerado tradicional.

Sobre o LDI, as atividades experimentais são realizadas quase que exclusivamente pelo professor em sala de aula. “Essas atividades são feitas no decorrer da aula, onde o professor utiliza um ou mais experimentos para ilustrar determinado conceito ou demonstrar algum fenômeno [...]” (CARNEIRO, 2007, p.45).

No que se refere ao LDP, sua principal característica é o desenvolvimento de experimentos fazendo uso da contextualização através de situações-problemas.

Segundo a autora, o laboratório mais eficaz para aprendizagem de conceitos é o LDP, pois ao problematizar e contextualizar a teoria e a prática torna o ensino mais eficaz e com mais lógica para o aluno, deixando de ser algo abstrato. Nesse caso, o processo funcionaria como uma investigação, isto é, a atividade se transformaria num problema, sendo preciso elaborar hipóteses e estratégias e testar cada uma delas, interpretando os dados encontrados para chegar a sua solução. No momento em que o aluno verifica suas hipóteses e estratégias ele modifica suas crenças e atitudes, bem como suas concepções sobre o problema proposto, tirando suas próprias conclusões.

Como assinalado por Séré, Coelho e Nunes (2003),

graças às atividades experimentais, o aluno é incitado a não permanecer no mundo dos conceitos e no mundo das linguagens, tendo a oportunidade de relacionar esses dois mundos com o mundo empírico. Compreende-se, então, como as atividades experimentais são enriquecedoras para o aluno, uma vez que elas dão um verdadeiro sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens (p. 39).

Dessa forma, o laboratório didático serve como um recurso pedagógico a ser utilizado pelo professor para melhorar a aprendizagem do aluno. Por trabalhar com uma metodologia diferente da tradicional, proporciona que ele desenvolva atitudes importantes para solucionar o problema proposto e abstrair a lógica desse para outros que tenham o mesmo conceito. Além disso, mesmo em escolas que não possuem um espaço físico previamente determinado e preparado para tais práticas, o professor pode utilizar como recursos materiais de baixo custo e realizar experimentos em outros ambientes. Cabe ao professor liberar sua imaginação e desenvolver atividades com os recursos que tem em mãos.

6 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

Com vistas a estabelecer um referencial teórico que oriente a prática deste estudo, bem como nos dê suporte explicativo, de forma implícita ou explícita, sobre os objetivos e os resultados a serem alcançados, escolhemos o referencial de Ausubel por se tratar de um teórico e pesquisador que esteve focado no processo da aprendizagem no cotidiano acadêmico. Assim, apresentamos nesse tópico considerações a cerca da sua teoria que se relacionam com a prática adotada.

O enfoque teórico de Ausubel se articula no eixo das teorias construtivistas da aprendizagem, que tem como principal questão estudar como ocorre o processo de aprender a pensar e aprender a aprender, ou seja, explica os mecanismos internos que ocorrem na mente humana com relação ao aprendido e a estrutura do conhecimento. Ao contrário das teorias behavioristas, parte do pressuposto que o aluno tem uma predisposição para aprender, por isso entende que ele é construtor do próprio conhecimento (VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2003; PRASS, 2012).

O principal conceito da sua teoria consiste na **Aprendizagem Significativa**, que ocorre quando novas ideias vão se relacionando de forma não arbitrária e substantiva com as ideias já existentes, modificando o conhecimento. De acordo com Prass (2012), para que tenha caráter não arbitrário tem que existir uma relação lógica entre a nova informação e a que já possui. E para ser substantiva, é necessário que se faça sentido e significado daquilo que se ensinou, de modo que possa expressar este em outras situações. Como assinala Moreira (2010), “a aprendizagem significativa é aprendizagem com significado, compreensão, sentido, capacidade de transferência” (p.6).

Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições: (a) disposição do aluno para aprender e, (b) o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo para ele (PELIZZARI et al., 2002).

Segundo esses autores,

as proposições de Ausubel partem da consideração de que os indivíduos apresentam uma organização cognitiva interna baseada em conhecimentos de caráter conceitual, sendo que a sua complexidade depende muito mais das relações que esses conceitos estabelecem em

si que do número de conceitos presentes. Entende-se que essas relações têm um caráter hierárquico, de maneira que a estrutura cognitiva é compreendida, fundamentalmente, como uma rede de conceitos organizados de modo hierárquico de acordo com o grau de abstração e de generalização (p 38).

Assim, segundo essa orientação teórica, o aluno não é visto mais como um mero receptor vazio e passivo, pois para aprender, o professor deve partir do conhecimento prévio do aprendiz e seguir favorecendo a ampliação da estrutura cognitiva. Por isso, duas dimensões do processo de aprendizagem são consideradas importantes na teoria de Ausubel (VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2003): (a) o modo como a matéria de ensino a ser aprendida é apresentada ao aluno (por recepção ou por descoberta). Por recepção é quando a informação recebida está pronta e o trabalho do aluno consiste em relacioná-la às ideias disponíveis em sua estrutura. E por descoberta é quando aprende sozinho, como nas situações nas quais soluciona problemas; (b) o modo como os alunos armazenam essa informação nas suas estruturas cognitivas já existentes (mecânica ou significativa).

Portanto,

a aprendizagem passa a ser encarada como um processo interno e pessoal que implica o aluno na construção ativa do conhecimento e que progride no tempo de acordo com os interesses e capacidades de cada um (VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2003, p.15).

Em contrapartida à aprendizagem significativa, existe segundo Ausubel outra forma de aprender, nomeada como **Aprendizagem Mecânica**, que consiste no oposto da aprendizagem significativa, visto que as novas informações não passam de memorizações sem significado. Por isso, as novas ideias não se relacionam de forma lógica com nenhuma das existentes. Trata-se de um conteúdo decorado, como ocorre às vezes nas provas, que depois de realizadas não se sabe mais sobre seu assunto. Como o aluno não aprendeu o significado é incapaz de utilizar as ideias novas em outros contextos (PRASS, 2012; MOREIRA, 2010).

Nota-se que a aprendizagem mais adequada para ser promovida entre os alunos é a aprendizagem significativa, visto que as vantagens para sua escolha são fatores determinantes no conhecimento: o enriquecimento da estrutura cognitiva, a flexibilidade e a longevidade da informação aprendida. Embora Ausubel enfatize esse tipo, ressalta também que no processo de ensino-aprendizagem existem

momentos em que a mecânica é inevitável, pois mesmo que a nova informação seja potencialmente significativa, o estudante pode escolher simplesmente decorá-la. Vários são os fatores para que ele faça essa escolha, desde o fato de estar habituado com as aulas e avaliações da escola até o fato de não ter tempo para se dedicar.

Segundo Moreira (2010), Prass (2012) e Vasconcelos, Praia, Almeida (2003), para que a aprendizagem significativa ocorra, a nova ideia precisa de uma estrutura lógica que interaja com conceitos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva. São os chamados **conceitos prévios**, formados pelos alunos na sua vida cotidiana. Quando a estrutura cognitiva não possui conceitos prévios, as novas informações acabam por ser aprendidas mecanicamente. Mas, quanto mais conhecimento o aprendiz adquire, maior também se torna sua facilidade de aprendizagem em várias áreas de conteúdo. Desse modo, o fator mais importante para a aprendizagem significativa é o conceito prévio, a experiência prévia, ou a percepção prévia; e o melhor modo de se obter uma nova informação é assimilá-la como parte da estrutura existente por um processo de conexão, manifestado pelo aluno por meio de uma predisposição para relacioná-la de maneira não-arbitrária e não-literal.

Conforme assinala Moreira (2010), alguns princípios podem ser adotados visando facilitar a aprendizagem significativa. São eles:

- (a) Diferenciação progressiva – aquilo que é mais relevante da disciplina de ensino deve ser introduzido desde o início e detalhado progressivamente através de situações e exercícios. Isto porque é mais fácil aprender conceitos mais gerais e depois especificá-los;
- (b) Reconciliação integradora – devem-se fazer relações entre conceitos e proposições, chamar atenção para as diferenças e semelhanças, procurando reconciliar inconsistências reais e aparentes de modo a evitar que a informação seja aderida à estrutura cognitiva mecanicamente;
- (c) Organização sequencial – consiste em sequenciar tópicos de estudo de maneira mais coerente e clara possível;
- (d) Consolidação – consiste em insistir no domínio progressivo do conteúdo antes de iniciar um outro.

Além destes, o professor deve atentar-se para fatores substantivos que facilitam a ação pedagógica, tais como: a seleção de aspectos importantes do conteúdo e, conseqüentemente, a seleção de ideias básicas para não sobrecarregar o aluno com informações que não tem relevâncias. Portanto, o fundamental no modelo pedagógico construtivista de Ausubel é dar especial atenção às construções prévias dos alunos para que estes filtrem, escolham, decodifiquem e reelaborem as informações recebidas do meio (PRASS, 2012; VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2003).

Por outro lado, existem alguns erros na condução de uma aula que dificultam a aprendizagem significativa, estes foram relacionados por Ausubel (2001, p. 7), são eles:

1. Uso prematuro de técnicas verbais puras com alunos imaturos em termos cognitivos;
2. Apresentação arbitrária de fatos não relacionados e sem uma organização ou princípios explanatórios;
3. Falha ao integrar novas tarefas de aprendizagem com os materiais previamente apresentados;
4. O uso de procedimentos de avaliação que medem meramente a habilidade de reconhecer fatos ou reproduzir ideias nas mesmas palavras ou num contexto idêntico ao que originalmente foi encontrado.

Mesmo tomando todas as precauções necessárias e seguindo pré-requisitos para que seja possível a aprendizagem significativa, é importante salientar que também existem fatores externos tanto ao aluno quanto ao professor nessa busca do ideal. São questões que envolvem uma esfera muito maior, como as burocráticas e políticas, a própria instituição escolar e o seu corpo administrativo, o sucateamento das verbas e dos espaços físicos, entre outras.

Como é notório, para Ausubel (2001), a aquisição e a retenção de conhecimentos estão necessariamente restritas aos contextos escolares formais, nos quais professores e alunos podem interagir em busca deste objetivo. Dessa forma, não há como ignorar que sem um sistema educativo que favoreça a implementação dos princípios facilitadores da aprendizagem significativa pouco se pode fazer para o melhoramento da aquisição de conhecimentos.

7 OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo realizar uma sequência didática sobre Tópicos de Física Quântica contendo o conceito e suas aplicações no cotidiano aplicado ao Ensino Médio por meio de atividades de diferentes estratégias desenvolvidas com alunos.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (A) Averiguar a concepção dos alunos sobre o conceito de quantização;
- (B) Descrever o conceito de Quantização a partir de exemplos de aplicações práticas existentes no cotidiano dos alunos por meio de uma aula expositiva;
- (C) Manipular simulações em formato Java para exemplificar fenômenos da quantização para os alunos;
- (D) Realizar um experimento demonstrativo com LEDs para determinação aproximada da Constante de Planck com os alunos;
- (E) Caracterizar o conhecimento adquirido pelos alunos sobre o conceito de quantização e fenômenos quânticos.

8 METODOLOGIA

De acordo com os objetivos propostos, esta pesquisa é classificada como exploratória, uma vez que procura aprimorar o conhecimento da Física Quântica no Ensino Médio. No que se refere aos procedimentos de coleta de dados, trata-se de uma pesquisa de levantamento, pois solicita aos alunos responder a questões sobre Física Quântica para mediante análise propor estratégias de ensino-aprendizagem (GIL, 2008).

8.1 PARTICIPANTES

Participaram do estudo três turmas do Ensino Médio de uma escola da rede pública de ensino de Vitória-ES, totalizando 91 alunos.

A escolha dos alunos foi realizada de acordo com a disponibilidade para participação nas etapas do estudo, sendo que foram informados sobre o objetivo e os procedimentos utilizados previamente. Depois dessas informações foram convidados a participarem da coleta de dados.

8.2 INSTRUMENTOS

Como instrumento de coleta de dados foram utilizados um computador para a exibição e manipulação do simulador; um experimento demonstrativo realizado em sala de aula; livros científicos, artigos, revistas e sites para a produção da aula expositiva; pré-teste e pós-teste para verificar o conhecimento dos alunos sobre o tema.

8.3 LOCAL

Os dados foram coletados em uma escola da rede pública do município de Vitória – ES. A escola escolhida foi a que o pesquisador realiza suas atividades

docentes, por conhecer seu funcionamento diário e por participar do planejamento escolar.

Atualmente a realidade da escola se caracteriza da seguinte forma:

- Não existe laboratório de Física;
- O professor realiza atividades práticas em sala de aula;
- As salas de aulas são temáticas, ou seja, cada disciplina ocupa uma sala distinta;
- Existem poucos recursos na sala/laboratório de Física;
- Existe um laboratório de informática, porém inoperante;
- A carga horária da disciplina de Física é de 2 horas-aulas semanais.

Em relação ao livro didático de Física adotado pela escola, seu título é “Física Interação e Tecnologia”, que faz parte dos títulos selecionados pelo PNLEM/MEC. A escolha do livro é feita, na maioria das vezes, em consenso com professores do turno de aula e entre os outros turnos, ou seja, pela opinião de cada professor de Física da escola.

As características básicas do livro “Física Interação e Tecnologia” em relação à Mecânica Quântica são:

- Dedicar o capítulo 5, titulado de **Tópicos de Física Moderna**.
- Descreve sucintamente **radiação de corpo negro** e **efeito fotoelétrico**, sem apresentar uma foto ou figura sobre os fenômenos.
- Também de maneira sucinta cita **diodo**, **LED** e **laser**, sem apresentar figura ou um diagrama qualquer.
- Não propõe atividades práticas, vídeos ou simulações.

8.4 EQUIPAMENTOS

LEDs

Fios elétricos

Pilhas

Multímetro

Projetor de imagens

8.5 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados em uma sala de aula da própria escola, a qual é destinada somente para a disciplina de Física, durante aulas da própria matéria para que os alunos não fossem prejudicados quanto ao conteúdo planejado.

Após receberem as explicações sobre a pesquisa, os alunos foram informados que participariam em cinco etapas e que em nenhuma delas seriam avaliados por meio de notas. Apenas registrariam o que compreenderam sobre o tema abordado.

As etapas do estudo foram realizadas da seguinte maneira:

1ª Etapa – Questionário prévio

Nessa etapa foi aplicado um questionário (Apêndice A) em folha impressa a fim de verificar o conhecimento dos alunos a respeito da Física Quântica, sendo respondido individualmente. O aplicador não interferiu nas respostas e para responder os participantes podiam utilizar caneta ou lápis e borracha.

Esta etapa corresponde ao **objetivo A**.

2ª Etapa – Aula expositiva

Inicialmente, apresentamos aos alunos do Ensino Médio, em duas aulas expositivas de 50 minutos cada, conceitos físicos importantes como o da quantização de energia, transições eletrônicas, fótons de luz, utilizando uma abordagem quântica, isto é, abordando a Física envolvida nesses temas, de forma mais atual por considerar essa abordagem mais adequada do ponto de vista da real natureza do conhecimento físico desenvolvido no mundo nos últimos séculos. Os slides usados durante a aula expositiva foram expostos no Anexo A.

Utilizou-se como pano de fundo para as discussões suscitadas com os alunos as controvérsias científicas, sobretudo, as presentes na chamada interpretação de Copenhagen, por considerar que a abordagem de aspectos históricos e filosóficos pode, de forma definitiva, aumentar a compreensão dos alunos acerca dos conteúdos. Para isso, consultamos um texto de apoio, sendo este apresentado no Anexo B.

Esta etapa corresponde ao **objetivo B**.

3ª Etapa – Manipulação de Simulações em formato Java

Nessa etapa foi utilizado como materiais três simulações em formato Java, desenvolvidos pelo site da Universidade do Colorado (Phet Interactive Simulations), nos Estados Unidos, que se destina a disponibilizar e distribuir simulações interativas em diversos idiomas. As simulações escolhidas para o estudo e apresentação para os alunos foram as de Efeito Fotoelétrico, Radiação de Corpo Negro e Laser. Essas foram selecionadas por ser relevantes para o entendimento do conceito de quantização de energia.

Utilizamos como recursos didáticos as simulações computacionais por deixar explícito aos alunos comportamentos quânticos e detalhes que outros recursos didáticos não são capazes. Com a aplicação dessa unidade foi esperado que os alunos pudessem entrar em contato com uma Física mais próxima do real. Como a escola em que a pesquisa foi realizada não possuía computadores para todos os alunos, o pesquisador mostrava o passo a passo de cada simulação e indagava aos alunos o que perceberam a partir das reações físicas.

Essa etapa corresponde ao **objetivo C**.

4ª Etapa – Experimento demonstrativo com Leds para determinação aproximada da Constante de Planck

Para realização desta etapa, focamos o **objetivo D**, utilizando como recurso didático um experimento envolvendo LEDs de várias cores e infravermelho, bem como as transições eletrônicas, quantização e fótons.

O experimento seguiu um roteiro previamente definido pelo pesquisador a partir de uma adaptação de um roteiro da disciplina de Laboratório de Estrutura da Matéria I elaborado pelo professor Freitas, sendo descrito no Apêndice A. Esse recurso foi classificado como experimento demonstrativo por seguir as orientações de Carneiro (2007), na qual especifica que esta atividade é realizada por grupos de alunos com um roteiro em mãos. Em seguida foi pedido aos alunos para anotar a tensão e a corrente em uma tabela para traçar o gráfico em papel milimetrado.

5ª Etapa – Questionário Final

Aqui os participantes responderam individualmente a outro questionário (Apêndice A) impresso sobre o conteúdo de Física Quântica estudado durante as etapas da pesquisa. O aplicador também não interferiu nas respostas dos alunos. Essa etapa foi realizada com a finalidade de responder ao **objetivo E**.

No Apêndice A foi exibida a sequência das atividades didáticas desenvolvidas, sendo distribuídas de acordo com o número de aulas realizadas.

8.6 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados coletados foram analisados qualitativamente a partir da interpretação e compreensão dos alunos sobre o tema, e quantitativamente através de medidas objetivas, como o uso da estatística e porcentagem (GONSALVES, 2002).

Os dados obtidos no pré-teste serviram de parâmetro para a criação do material conceitual, da escolha dos simuladores e do experimento. Os dados do pós-teste foram utilizados para validar a Sequência Didática proposta de Física Quântica no conteúdo de Física Moderna do Ensino Médio.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O principal objetivo desse trabalho foi elaborar e realizar uma sequência didática sobre Tópicos de Física Quântica com alunos do Ensino Médio da rede pública de ensino, para isso utilizou-se diferentes estratégias de aprendizagem buscando seguir os princípios abordados por Ausubel (2001) em sua teoria. A questão principal envolvida nesse objetivo foi desmistificar um pré-conceito formado pelos estudantes ao longo dos anos de que Física é uma matéria difícil, exemplificando para colegas docentes como abordar conceitos mais complexos como o de quantização de energia no cotidiano escolar. Buscando assim, seguir as orientações curriculares nacionais – LDB (2000) e PCNs (2008) – que preconizam que a Física Quântica não deve ser ignorada a fim de evitar a formação de cidadãos que desconhecem aspectos relevantes da ciência contemporânea tão presente em aplicações tecnológicas na sociedade moderna.

A sequência didática proposta utilizou cinco estratégias para facilitar a aquisição de conhecimento. A **primeira** foi uma avaliação acerca da concepção dos alunos sobre o conceito de Física Quântica (objetivo A). A **segunda** estratégia foi a realização de uma aula expositiva por meio de slides e exemplos práticos da aplicação do assunto no dia a dia deles (objetivo B). A **terceira** foi a manipulação de simulações computacionais exemplificando fenômenos quânticos (objetivo C). A **quarta** foi a realização de um experimento para verificação aproximada da constante de Planck (objetivo D). A **quinta** estratégia foi a avaliação das concepções adquiridas pelos alunos após a participação nos procedimentos anteriores (objetivo E). A análise e interpretação dos dados que serão expostos nesta sessão são relativas aos objetivos A, D e E, sendo que as demais estratégias serviram de base para a avaliação final realizada pelos participantes.

Desse modo, os resultados correspondentes ao objetivo A foram apresentados no Quadro 2, sendo selecionadas para quantificação as questões 1, 2, 5 e 10 do questionário prévio (Apêndice A), respectivamente:

QUADRO 2 – CONCEPÇÃO DOS ALUNOS SOBRE O CONCEITO DE QUANTIZAÇÃO

QUESTÕES		T1	T2	T3	%
Você já ouviu falar em física quântica?	Sim	17	16	10	47,3
	Não	16	16	16	52,7
Você já ouviu falar em quantização de energia?	Sim	2	3	1	6,6
	Não	31	29	25	93,4
Você já ouviu falar em efeito fotoelétrico?	Sim	1	2	3	6,6
	Não	32	30	23	93,4
Você gostaria de estudar a respeito da Física Quântica?	Sim	15	12	13	44,0
	Não	4	7	3	15,3
	tanto faz	14	13	10	40,7

De acordo com os resultados encontrados no Quadro 2, a maioria dos alunos das três turmas investigadas (52,7%; 93,4% e 93,4% respectivamente) não conhecem sobre o conceito de quantização. E 47,3% já ouviram falar sobre o assunto, embora apenas 6,6% tenham ouvido sobre conceitos como de quantização de energia e efeito fotoelétrico. Sendo que 44% deles desejam estudar sobre o assunto, 15,4% não desejam e 40,7% acham que tanto faz.

Esses dados nos fazem recordar sobre os tipos de aprendizagem abordados por Ausubel (2001), a aprendizagem significativa e a aprendizagem mecânica, isto porque a aquisição de qualquer que seja o conhecimento está diretamente ligada à vontade e ao desejo de obtê-lo. Assim, torna-se importante realizar um levantamento sobre o interesse dos alunos diante do assunto. É claro que na grade curricular é importante contemplar os mais diversos assuntos, procurando sempre capacitar os alunos em todas as áreas de conhecimento, como orientado pelo próprio material do Ministério da Educação. Porém o fator afetivo, como discutido por Ausubel (2001) influencia diretamente nessa capacitação. Quando alunos respondem se gostariam

de estudar Física Quântica estão expressando o seu interesse nesse assunto e sua disposição em aprendê-lo.

Iniciar um assunto sabendo o real interesse dos alunos em aprendê-lo facilita muito na elaboração das estratégias de ensino pelo professor, uma vez que demonstra para o próprio aluno que se preocupa em discutir temas que ele se interessa.

Além de avaliar o interesse dos alunos, essa avaliação proporcionou saber o que o aluno sabia sobre o assunto que seria abordado. Como exposto nas Orientações Curriculares (2008)

Os **conhecimentos prévios** dos alunos, e a exploração de suas contradições e limitações pelo professor, exigem que este elabore situações e problemas que o aluno não faria sozinho e que tenham o potencial de levar à aquisição de conhecimento que o educando ainda não possui, mas que passará a ter significância dentro dos esquemas conceituais do aluno. Ao mesmo tempo em que os conhecimentos prévios dos alunos são problematizados, deve-se fazer a *contextualização histórica* dos problemas que originaram esse conhecimento científico e culminaram nas teorias e modelos que fazem parte do programa de conteúdos escolares a ser aprendido pelo aluno, ampliando a visão do seu mundo cotidiano (p.51, grifo nosso).

Os conhecimentos prévios são discutidos na teoria ausubeliana como sendo **conceitos prévios** (Moreira, 2010; Prass, 2012; Vasconcelos, Praia, Almeida, 2003), ou seja, são os conceitos já existentes na estrutura cognitiva. Para que a aprendizagem significativa ocorra é intrinsecamente necessário que ocorra uma interação relevante e inclusiva. Caso a estrutura cognitiva não possua conceitos prévios, as informações novas acabam por ser aprendidas mecanicamente.

Diante esses resultados e discussões a dúvida que se instala é a seguinte: após a participação nas etapas da pesquisa os alunos terão uma aprendizagem significativa ou mecânica? Essa é uma questão que podemos verificar ao analisar os resultados obtidos no objetivo E.

Em relação ao objetivo E, os resultados encontrados foram apresentados na Tabela 2, sendo quantificadas somente as questões de múltipla escolha do questionário final (Apêndice A).

TABELA 1 – PERCENTUAL DE ACERTOS EM QUESTÕES SOBRE CONCEITOS DE FÍSICA QUÂNTICA

TURMA	QUESTÃO							
	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
T1	89	89	85	85	85	81	70	74
T2	84	68	52	64	56	72	44	68
T3	89	71	86	75	75	79	54	68

Analisando a influência da sequência didática no processo de ensino-aprendizagem dos alunos, os resultados apresentados na Tabela 1 indicaram que houve um avanço significativo em relação ao conhecimento e conceitos de Física Quântica, visto que a maioria das questões teve mais de 50% de acertos. Pôde-se inferir que as estratégias de ensino utilizadas na sequência didática desse estudo influenciaram positivamente na aprendizagem dos alunos, podendo ser ampliada para outros conteúdos.

Os dados apresentados na Tabela 1 nos permitem também interpretar que apenas a turma **T2** teve um desempenho um pouco abaixo na questão **Q11** (44%). Sendo que nas demais questões obtiveram mais de 50% de acertos. Além disso, podemos verificar que a turma **T1** foi a que teve o desempenho melhor, isso porque obtiveram mais de 70% de acertos em todas as questões avaliadas. Em relação à turma **T3**, também apresentaram mais de 70% de acertos, exceto na questão **Q11**.

Para responder a pergunta colocada anteriormente sobre o tipo de aprendizagem obtida pelos participantes após a participação na pesquisa, cabe realizar uma comparação entre os resultados obtidos nas questões 6 e 7 do questionário prévio (Apêndice A) e aqueles obtidos nas questões 9 e 11 do questionário final (Apêndice A). Essas questões interrogaram sobre o conceito de quantização de energia. Assim, iremos comparar qual o conhecimento que os alunos tinham antes de participarem das etapas de conteúdo da sequência didática sobre Física Quântica e depois que obtiveram esse contato.

Como o percentual de acerto das questões 9 e 11 já foram apresentados na Tabela 1, mostraremos primeiro o percentual de acertos das questões 6 e 7 (Tabela 2) e depois apresentaremos a comparação (Figura 1).

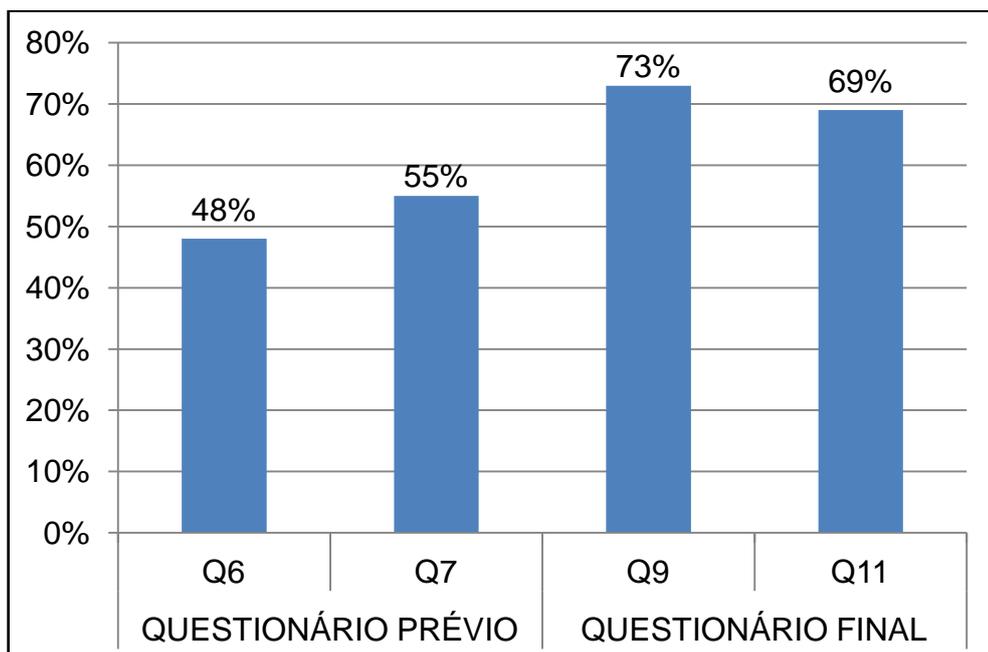
TABELA 2 – PERCENTUAL DE ACERTOS EM QUESTÕES SOBRE FÍSICA QUÂNTICA

TURMA	QUESTÕES	
	Q6	Q7
T1	58	64
T2	44	50
T3	42	50

De acordo com os resultados da Tabela 2, a turma **T1** apresentou 58% de acerto na questão **Q6** e 64% na questão **Q7**. A turma **T2** obteve 44% na primeira questão e 50% na segunda. A turma **T3** teve 42% na questão **Q6** e 50% na **Q7**. Foi possível verificar também que os alunos das três turmas avaliadas foram melhores na segunda questão do que na primeira. Além disso, a turma **T1** foi a que obteve o melhor desempenho.

Agora mostraremos os dados da Figura 1 abaixo.

Figura 1 – Comparação entre os resultados do questionário prévio e questionário final



Ao comparar os resultados obtidos nas questões 6 e 7 do questionário prévio com aqueles obtidos nas questões 9 e 11 do questionário final, podemos observar por meio do Figura 1 que na primeira questão os alunos das três turmas tiveram 48% de acertos, 55% na segunda, 73% na terceira e 69% na quarta, respectivamente. Assim, a questão **Q6** foi a que os alunos tiveram menor desempenho e a questão **Q9** foi a que tiveram maior. Além disso, pode-se verificar que houve melhora no desempenho deles no questionário final quando comparado ao questionário prévio, visto que nas duas questões o percentual de acertos que alcançaram foi maior. Se compararmos a questão **Q6** com a **Q9**, a melhora apresentada representou 25%. Mesmo quando comparamos a questão **Q7** com a **Q9** o avanço representou 18%. A diferença entre a questão **Q6** e a **Q11** foi de 21% e entre a **Q7** e a **Q11** foi de 24%.

Assim, com base nesses resultados há indícios de que houve **aprendizagem significativa**. A aprendizagem significativa, como explicado na sessão 6, se dá quando o novo conceito se articula com outros pré-existentes e o modifica de forma não arbitrária e substantiva. Isto é, de maneira lógica e com sentido e significado daquilo que se ensinou, de modo que possa expressar este em outras situações (MOREIRA, 2010; PRASS, 2012). Como bem exposto por Prass (2012)

não basta ter-se um material ou uma aula potencialmente significativa, caso o aprendiz não possua determinadas ideias que servirão de âncora para a aprendizagem do novo conteúdo (segundo a estratégia dos organizadores prévios), e/ou se ele não apresenta real interesse em aprender significativamente, ele poderá aprender mecanicamente (p.34).

Mediante essas questões, percebemos quão é importante e necessário proporcionar ao aluno assuntos que estejam mais próximos de sua realidade, é nela que está a construção dos conceitos prévios de que Ausubel interpreta como âncora para a construção de conceitos científicos e tecnológicos. Não é por acaso que as pesquisas realizadas por Heckler, Saraiva e Filho (2007) e Pires e Veit (2006) já indicavam a necessidade de abandonar a ideia de que o professor é um transmissor e o aluno um mero receptor, baseando a aprendizagem em dados superficiais e decorativos. Como também mostraram os estudos realizados por Covolan e Silva (2005) e por Zanotta, Cappelletto e Matsuoka (2011) é fundamental inserir novas propostas de ensino-aprendizagem que desvie do estilo tradicional.

Covolan e Silva (2005) relatam, além disso, que buscar uma prática mais interessante é uma tarefa mais fácil no campo teórico do que no prático, o que

justifica em muito a dificuldade de professores. Ainda mais sobre conteúdos ligados à Física Quântica, que trata das leis do movimento que prevalecem em domínios microscópicos. Dessa forma, planejar a ação didática faz total diferença na aprendizagem desse conteúdo. Como preconiza as orientações relatadas pelos PCNs (2008) a ação didática sofre influencia direta e indireta do ambiente escolar, dos valores e das concepções nele inseridos, do contexto social, das expectativas do aluno, da interação didático-pedagógica, das estratégias de aprendizagem, etc. cabendo ao professor juntamente com a equipe da escola estar atento para esses fatores.

Recordando a teoria de Ausubel (2001) em relação à ação didática sobre influência do fator estratégia de ensino-aprendizagem, esse salienta a importância de planejar o conteúdo a ser ministrado buscando seguir quatro princípios norteadores: diferenciação progressiva; reconciliação integradora; organização sequencial; e consolidação. De acordo com Moreira (2010), fazer uma diferenciação progressiva nada mais é do que selecionar o conteúdo mais relevante da disciplina e/ou de parte do assunto para ser trabalhado detalhando-o progressivamente. O outro princípio deferido como da reconciliação integradora, consiste em fazer relações entre conceitos e proposições, chamando atenção para as diferenças e as semelhanças. Em seguida vem à organização sequencial, que consiste em sequenciar tópicos de estudo de maneira mais coerente e clara possível. E o último, a consolidação que se refere ao domínio progressivo do conteúdo antes de iniciar outro. Fazendo uma analogia desses princípios com o que foi realizado na sequência didática ficaria assim:

- (a) Diferenciação progressiva = organização do tema apresentado em uma aula expositiva;
- (b) Reconciliação integradora = relações entre a teoria apresentada e sua real funcionalidade em simulações computacionais;
- (c) Organização sequencial = experimento com roteiro pré-estabelecido para determinação da constante de Planck;
- (d) Consolidação = avaliação do conteúdo aprendido por meio de questões de múltipla escolha.

Vale ressaltar que o uso de simulações computacionais é tido como uma estratégia importante para que aconteça a aprendizagem significativa, como mostrado por

Cardoso e Dickman (2012) no estudo realizado sobre o conceito do efeito fotoelétrico. De acordo com esses autores,

as escolas tentam se adequar incorporando meios tecnológicos que possibilitem a aprendizagem por meio de metodologias contextualizadas com a sociedade moderna, utilizando, por exemplo, a internet e o computador como ferramentas de ensino para buscar um rendimento cognitivo superior dos estudantes (p. 893).

Não é simples realizar essa mudança na prática docente, embora hoje existam muitos recursos computacionais de fácil manuseio tecnológico e que muito chama a atenção dos alunos que nasceram e cresceram nessa era tão modernizada, onde a inclusão digital é quase uma regra. Embora as simulações computacionais sejam grandes aliadas ao processo de ensino-aprendizagem, não se pode esquecer que as estratégias antigas não são excludentes, ou seja, são complementares.

Assim como as simulações computacionais, outra estratégia que deve ser incorporada na prática docente visando ganhos na aprendizagem de conteúdos é o experimento. No caso da Física, se faz mais adequado ainda, pois permite demonstrar fenômenos que a teoria explica, mas que são de difícil entendimento do processo, isto é, de como ocorrem, parecendo que os saberes são meras fórmulas que precisam ser decoradas.

Algumas escolas inclusive já estabeleceram um lugar físico para a realização de experimentos, o chamado laboratório didático, embora em muitas delas este espaço esteja sucateado e/ou abandonado, como é o caso da escola investigada. Como explanado anteriormente, o laboratório didático tem por objetivo proporcionar ao aluno atividades experimentais que desenvolva competências e habilidades tais como: investigar, avaliar, analisar, concluir, formular ideias, antecipar, etc. (PCNs, 2002; CARNEIRO, 2007).

De acordo com as Orientações curriculares (2008), “[...] situações de aprendizagem que exponham a problemas que exijam a *elaboração de hipóteses e a construção de modelos* estão próximas do que sugerem as competências” (p. 49), ou seja, tais como as situações proporcionadas em experimentos.

No experimento escolhido (Apêndice A) para ser realizado nessa pesquisa, pedimos aos alunos que construíssem um gráfico descrevendo a tensão versus corrente para a determinação aproximada da constante de Planck. Em seguida apresentamos

como exemplo o Figura 2 produzido por uma das turmas participantes, atividade realizada de acordo com o objetivo D.

Figura 2 – Descrição dos dados da determinação da constante de Planck utilizando led's

DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK UTILIZANDO LED'S

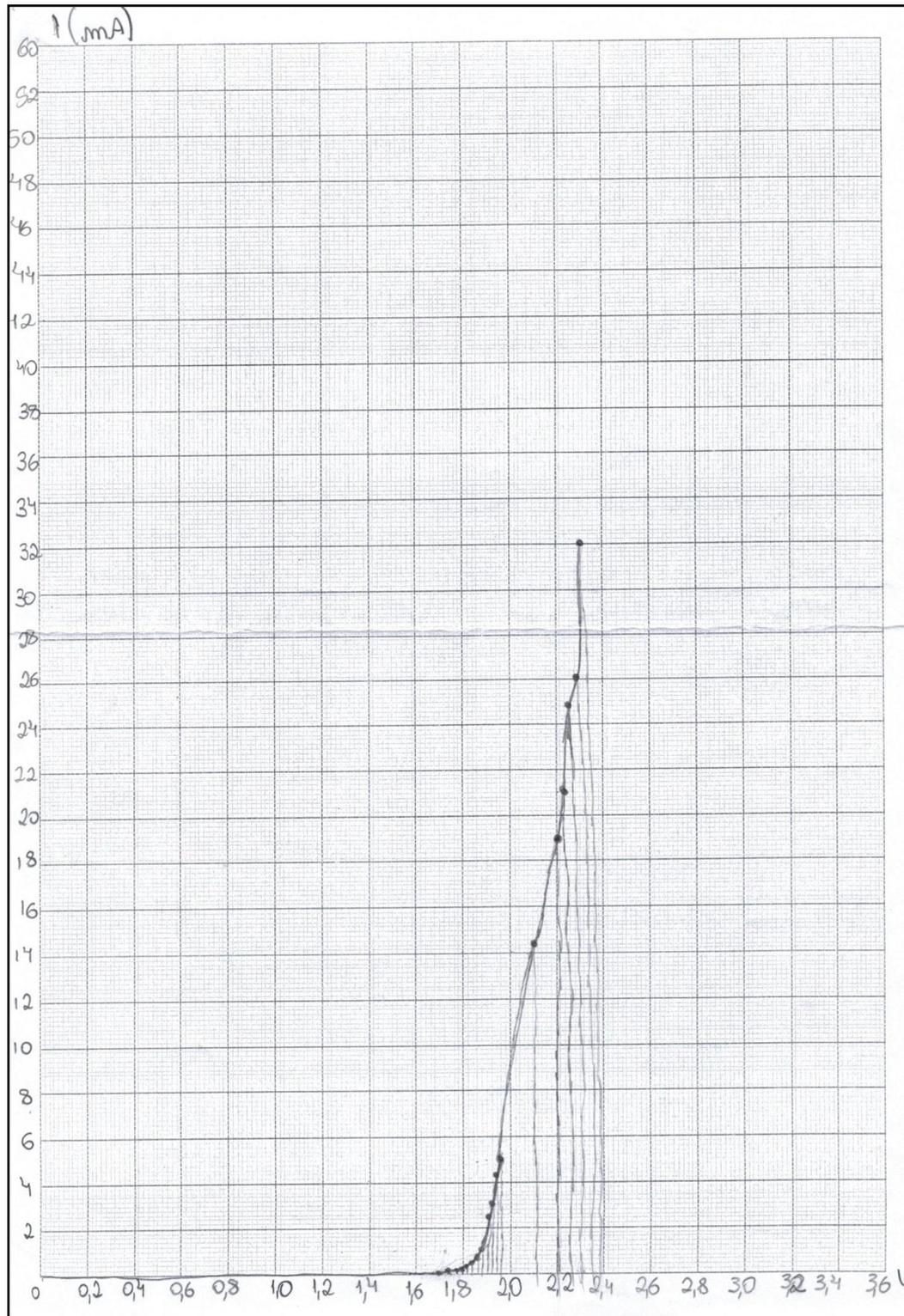
OBJETIVOS:

- 1) Determinar o comprimento de onda da radiação emitida pelos LED's utilizando gráficos de espectros de emissão.
- 2) Levantar as curvas características I-V para cada LED.
- 3) Obter a constante de Planck.

Vermelho		Amarelo		Verde		Infravermelho	
Vi		Vi		Vi		Vi	
I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)
0,0	1,65	0,0	1,53	0,0	1,71	0,1	0,93
0,1	1,66	0,1	1,56	0,1	1,73	0,2	0,97
0,2	1,71	0,2	1,60	0,2	1,78	0,3	1,00
0,3	1,74	0,3	1,64	0,3	1,80	0,4	1,02
0,4	1,76	0,4	1,67	0,4	1,81	0,5	1,03
0,5	1,77	0,5	1,70	0,6	1,83	0,8	1,05
0,6	1,78	0,6	1,72	0,9	1,85	1,6	1,08
0,8	1,80	0,8	1,76	1,2	1,87	2,5	1,10
1,0	1,82	1,1	1,79	2,2	1,91	4,7	1,13
1,2	1,83	1,5	1,82	3,1	1,93	9,1	1,15
1,4	1,84	3,2	1,96	4,2	1,96	13,8	1,17
2,4	1,89	7,5	2,08	5,5	1,98	22,5	1,20
2,8	1,90	10,4	2,15	14,8	2,14	27,5	1,21
3,9	1,94	15,8	2,24	19,1	2,21	41,1	1,24
5,0	1,97	18,1	2,27	21,5	2,24	54,5	1,25
7,4	2,03	24,1	2,34	24,8	2,28	68,0	1,27
8,0	2,04	26,0	2,36	26,1	2,30	73,7	1,28
10,8	2,09	30,0	2,39	32,0	2,38	96,0	1,30
15,6	2,15						
25,5	2,23						

Esses dados foram coletados a partir da observação do experimento realizado em sala de aula. Após isso solicitamos aos alunos que apresentassem esses dados na forma de gráfico (Figura 3), sendo que selecionamos o LED verde para mostrar aos leitores.

Figura 3 – Curva característica da constante de Planck utilizando LED verde



Com esses dados foi possível calcular a constante de Planck. Os resultados encontrados por cada turma foram esses:

TABELA 3 – VALOR DA CONSTANTE DE PLANCK CALCULADO NO EXPERIMENTO NA TURMA 1

	LED vermelho	LED amarelo	LED verde	LED infravermelho
Comprimento de onda (nm)	650	580	560	760
Frequência (x 10 ¹⁴ hz)	4,62	5,17	5,36	3,95
Potencial de corte (V)	1,75	1,67	1,80	1,03
Constante de Planck h (x10 ⁻³⁴ J.s)	6,07	5,17	5,38	4,17
Valor médio para h (x10⁻³⁴ J.s)	5,20			

TABELA 4 – VALOR DA CONSTANTE DE PLANCK CALCULADO NO EXPERIMENTO NA TURMA 2

	LED vermelho	LED amarelo	LED verde	LED infravermelho
Comprimento de onda (nm)	630	590	550	780
Frequência (x 10 ¹⁴ hz)	4,76	5,08	5,45	3,85
Potencial de corte (V)	1,76	1,70	1,86	1,15
Constante de Planck h (x10 ⁻³⁴ J.s)	5,91	5,35	5,46	4,78
Valor médio para h (x10⁻³⁴ J.s)	5,38			

TABELA 5 – VALOR DA CONSTANTE DE PLANCK CALCULADO NO EXPERIMENTO NA TURMA 3

	LED vermelho	LED amarelo	LED verde	LED infravermelho
Comprimento de onda (nm)	640	585	540	770
Frequência (x 10 ¹⁴ hz)	4,69	5,13	5,56	3,90
Potencial de corte (V)	1,78	1,7	1,8	1,20
Constante de Planck h (x10 ⁻³⁴ J.s)	6,08	5,30	5,18	4,93
Valor médio para h (x10⁻³⁴ J.s)	5,37			

A partir desses dados (Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5), concluímos que o experimento com LEDs permitiu a determinação simples e de fácil reprodução da constante de Planck, possibilitando que um aluno o realize com facilidade. Além disso, proporcionou que outros conceitos sejam trabalhados, tornando a aprendizagem desse assunto mais atraente no Ensino Médio. Utilizamos LED's produzidos comercialmente, cujos valores de frequência são conhecidos e, deste modo, tais valores foram consultados por meio de pesquisa na internet. O valor atualmente aceito para a constante de Planck é de $6,63 \times 10^{-34}$ J.s. Se compararmos com os obtidos nas três turmas teremos, na média, $5,31 \times 10^{-34}$ J.s, o que está próximo ao valor esperado, visto que atingiu-se uma concordância de 80%. Devido à simplicidade do experimento realizado é um resultado muito satisfatório e suficiente para concluirmos que a atividade foi relevante para o aprendizado.

A partir dessas questões, consideramos que o mundo atual exige do professor a inovação de seus métodos de ensino, no qual possibilite ao aluno construir competências que o permitam realizar julgamentos, tomar decisões e se posicionar frente aos mais variados tipos de problemas que poderá encontrar. Cabe aqui a transcrição de um trecho bastante pertinente às nossas discussões:

Para isso, não servem componentes curriculares desenvolvidos com base em treinamento para respostas padrão. Um projeto pedagógico escolar adequado não é avaliado pelo número de exercícios propostos e resolvidos, mas pela qualidade das situações propostas, em que os estudantes e os professores, em interação, terão de produzir conhecimentos contextualizados (Orientações curriculares, 2008, p.106).

Finalizamos com a certeza de que não é necessária a invenção de um novo método e sim uma adequação e uso de práticas e métodos já existentes aplicados no contexto da escola pública, levando em consideração seus aspectos culturais e sociais.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise e interpretação dos dados permitiu verificar que quanto mais recursos utilizados para o ensino de Física, em específico, o estudo da Física Quântica, maior a possibilidade de aprendizagem do aluno. Isso foi notório nos resultados encontrados, visto que inicialmente a maioria dos alunos das três turmas investigadas (52,7%; 93,4% e 93,4% respectivamente) não conhecem sobre o conceito de quantização conforme mostrado no Quadro 2 e que após participarem das etapas do estudo houve um avanço significativo em relação ao conhecimento e conceitos adquiridos, uma vez que tiveram mais de 50% de acertos na maioria das questões como mostrado na Tabela 1. Além disso, comparando os dados adquiridos no questionário prévio com aqueles obtidos no questionário final, podemos observar por meio da Figura 1 que houve um avanço em torno de 22% no desempenho em relação ao percentual de acertos alcançados no questionário final. Por fim, com os resultados do experimento, averiguamos que o valor encontrado para a constante de Planck (média de $5,31 \times 10^{-34}$ J.s nas três turmas) representou uma concordância de 80%, bem próximo ao valor esperado atualmente, que é de $6,63 \times 10^{-34}$ J.s.

Assim, constatamos que o ensino de Física pode ser aperfeiçoado mediante as propostas de reforma curricular e da consciência dos professores em relação à importância de inserir diversas estratégias de ensino-aprendizagem no cotidiano de sua prática, dando descontinuidade ao modelo tradicional executado. “Isso significa produzir aulas interessantes, que priorizem a metodologia, o conteúdo, o raciocínio científico, o aluno pesquisador e o desenvolvimento da estrutura cognitiva” (CARDOSO; DICKMAN, p. 895).

Deve ainda, articular esses elementos entre si, incorporando no processo de ensino-aprendizagem aspectos históricos, tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais com vistas a estabelecer uma conexão equilibrada entre os tópicos de Física programados pela escola e a importância deles no âmbito da estrutura conceitual dessa disciplina científica, bem como a relevância social desses conteúdos para a vida dos alunos do Ensino Médio. Nesse sentido, buscar suprir às necessidades de inovação curricular e de metodologia de ensino, atendendo assim aos pressupostos indicados pelos documentos que orientam a prática docente.

Sobre isso, Ausubel, Novak e Hanesian (1980) expõem que a facilitação da aprendizagem é a própria finalidade do ensino. O ato de ensinar não se encerra em si mesmo, pois a finalidade do ensino é o aprendizado por parte do aluno; muito embora o insucesso na aprendizagem dos alunos não indique necessariamente a incompetência do professor, o produto da aprendizagem é ainda a única medida possível para se avaliar o mérito do ensino.

Portanto, o ensino de Física, sobretudo no ensino médio, deve acompanhar o desenvolvimento científico, visando vencer os paradigmas clássicos que já não representam de forma completa a ciência do mundo moderno, que por sua vez traz exigências diferenciadas. A física quântica, especificamente, tem o papel de aumentar consideravelmente a compreensão dos estudantes acerca das novas tecnologias, tais como sensores fotoelétricos, células solares, lasers, computadores quânticos e LEDs, visto que muitos destes e de outros equipamentos que dispomos hoje tem seu funcionamento baseado em conceitos físicos quânticos.

Concluimos que a investigação, embora feita através de um estudo de caso representa de forma bastante próxima, a situação geral da disciplina de Física no Ensino Médio em outras escolas do Espírito Santo, com isso esperamos instrumentalizar professores que vivenciam a dificuldade de ser docente em Física ampliando os recursos que ele pode ter em mãos.

11 REFERÊNCIAS

- ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 179-184, 2004.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. 1ª Edição. Lisboa: Paralelo Editora, Ltda, 2001.
- AUSUBEL, D.P. ; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Editora Interamericana Ltda., Rio de Janeiro, 1980.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 1996. **LDB : Lei de diretrizes e bases da educação**, Brasília, 3. ed., DP&A, 2000.
- BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais – Língua Portuguesa: Ensino Médio. **MEC**, Brasília: Secretaria do Ensino Médio, 364 p., 2002.
- BRASIL. Orientações Curriculares para o Ensino Médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, v. 2, 135 p., 2008.
- C:\Program Files (x86)\PhET\en\simulations\category\physics\quantum-phenomena.html
- CARDOSO, S. O. O.; DICKMAN, A. G. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2, p. 891-934, out. 2012.
- CARNEIRO, N. L. **A prática docente nas escolas públicas, considerando o uso do laboratório didático de Física**. 2007. 90 f. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena de Física) – Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, Universidade Estadual do Ceará, Ceará.
- CHIBENI, S. S. **O surgimento da Física Quântica** (notas de aula): Departamento de Filosofia - IFCH – UNICAMP. [s.d.]. Disponível em < <http://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/fisquantica.pdf> >. Acesso em: 18 de junho de 2015.
- COVOLAN, S. C. T.; SILVA, D. da. A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 98-117, 2005.
- DOMINGUINI, L. Física moderna no ensino médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, 2012.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. Física Quântica. 21ª reimpressão - Rio de Janeiro, 1979.

FÍSICA: catálogo do Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio: PNLEM/2009. **Secretaria de Educação Básica**, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2008. 66 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONSALVES, E. P. Escolhendo o percurso metodológico. In: _____. **Conversas sobre iniciação à pesquisa científica**. 3ed. Campinas: Alínea, 2003, p. 61-73.

Guia de livros didáticos: PNLD física: ensino médio. – Brasília: **Ministério da Educação**, Secretaria de Educação Básica, 2015. 108 p.

GRANDINI, N. A.; GRANDINI, C. R. Laboratório didático: importância e utilização no processo ensino-aprendizagem. In: XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 2008, Curitiba.

HECKLER, V.; SARAIVA, M. de F. O.; FILHO, K. de S. O. Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 267-273, 2007.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da Física 4. 4ª Edição - Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

LUNKES, M. J.; FILHO, J. B. da R. A baixa procura pela licenciatura em física, com base em depoimentos de estudantes do ensino médio público do oeste catarinense. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 1, p. 21-34, 2011.

MARTINS, R. L. C.; VERDEAUX, M. de F. da S.; SOUSA, C. M. S. G. de. A utilização de diagramas conceituais no ensino de física em nível médio: um estudo em conteúdos de ondulatória, acústica e óptica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, 3401, 2009.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. . 2ª edição. Rio Grande do Sul: Instituto de Física da UFRGS, 2010.

MOREIRA, A. F.; BORGES, O. Por dentro de uma sala de aula de física. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v.32, n.1, p. 157-174, jul./dez. 2006.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 1ª Edição - São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

PRASS, A. R. **Teorias de aprendizagem**. 2012. 57 f. Monografia (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

PELIZZARI, A.; KRIEGL, M. L.; BARON, M. P.; FINCK, N. T. L.; DOROCINSKI, S. I. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **Rev. PEC**, Curitiba, v.2, n.1, p.37-42, jul. 2001-jul. 2002.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. Tecnologias de Informação e Comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de Física no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006.

SANTOS, J. F.; CASTILHO, W. S. O laboratório de física nas escolas públicas de ensino médio de Palmas – Tocantins. In: ANAIS ELETRÔNICOS - 1ª JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO DO IFTO.

SÉRÉ, M-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Faculdade de Física – PUCRS Porto Alegre – RS, v.20, n.1, p. 30-42, 2003.

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE JR., O.; EL-HANI, C. N. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 529-556, 2009.

VASCONCELOS, C.; PRAIA, J. F.; ALMEIDA, L. S. Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem. **Psicologia Escolar e Educacional**, v. 7, n. 1, p. 11-19, 2003.

ZANOTTA, D. C.; CAPPELLETTO, E.; MATSUOKA, M. T. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, 2313, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Sequência didática sobre tópicos de física quântica através do uso de simulações computacionais e da determinação da constante de Planck com LEDs aplicado ao Ensino Médio

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL

GLEITON SANTOS MACIEL

PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE TÓPICOS DE
FÍSICA QUÂNTICA ATRAVÉS DO USO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS E DA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE
PLANCK COM LEDs APLICADO AO ENSINO MÉDIO

VITÓRIA

2016

GLEITON SANTOS MACIEL

**PROPOSTA DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE TÓPICOS DE
FÍSICA QUÂNTICA ATRAVÉS DO USO DE SIMULAÇÕES
COMPUTACIONAIS E DA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE
PLANCK COM LEDs APLICADO AO ENSINO MÉDIO**

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF).

Orientador: Prof. Dr. Breno Rodrigues Segatto

VITÓRIA

2016

APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a)

Este guia constitui o Produto Educacional da pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, da Universidade Federal do Espírito Santo, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Este guia é uma sequência didática sobre tópicos de Física Quântica aplicada no Ensino Médio.

Este material é destinado, principalmente, ao professor do Ensino Médio e possui o objetivo de auxiliar na introdução e no desenvolvimento do conceito de Física Quântica numa perspectiva conceitual. Todas as atividades destinadas aos estudantes acompanham este material e os recursos computacionais utilizados na sistematização do conteúdo estão disponíveis na internet.

SUMÁRIO

1 JUSTIFICATIVA	5
2 OBJETIVOS.....	5
2.1 OBJETIVO GERAL.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3 REFERENCIAIS TEÓRICOS.....	6
3.1 TEORIA DA FÍSICA QUÂNTICA.....	6
3.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM DE AUSUBEL.....	7
4 CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS.....	8
5 ROTEIRO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	8
5.1 ATIVIDADE 1 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO.....	8
5.2 ATIVIDADE 2 - AULA EXPOSITIVA.....	9
5.3 ATIVIDADE 3 - MANIPULAÇÃO DE SIMULAÇÕES EM FORMATO JAVA.....	21
5.4 ATIVIDADE 4 - MANIPULAÇÃO DE SIMULAÇÕES EM FORMATO JAVA.....	22
5.5 ATIVIDADE 5 - EXPERIMENTO DEMOSNTRATIVO COM LED'S PARA DETERMINAÇÃO APROXIMADA DA CONSTANTE DE PLANCK.....	23
5.6 ATIVIDADE 6 - CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DOS GRÁFICOS.....	27
5.7 ATIVIDADE 7 - QUESTIONÁRIO FINAL.....	26

1 JUSTIFICATIVA

O ensino de Física é uma área que ainda enfrenta muitas dificuldades em relação ao processo de ensino-aprendizagem no Brasil e são inúmeros os motivos. Como exemplo, podemos citar a falta de inovação na grade curricular conforme a atualidade cultural e social; o pouco investimento científico e tecnológico; o pequeno interesse por boa parte dos alunos; a descrença dos professores quanto ao ensino; as estratégias de ensino tradicionalistas; entre outras questões (COVOLAN; SILVA, 2005; ZANOTTA; CAPPELLETTO; MATSUOKA, 2011; PIRES; VEIT, 2006).

Covolan e Silva (2005) afirmam que buscar uma prática pedagógica voltada para um aprendizado mais significativo e criativo é uma necessidade apresentada quando consideramos a crescente insatisfação com o ensino tradicional, uma vez que conteúdos são ensinados de forma acrítica e apática, valorizando a memorização de fórmulas e tornando o aluno como um mero ser passivo de conhecimento. Porém, professores têm encontrado grandes dificuldades em elaborar estratégias de ensino e levá-las para suas aulas. O que parece que na teoria a questão é mais facilmente resolvida do que na prática. Só recentemente, tem sido estimulada a inclusão de conteúdos mais atuais nos currículos escolares por meio orientações documentadas pela LDB (2000) e pelos PCNs (2002), que ressaltam a necessidade de organizar os conteúdos vinculando-os ao cotidiano do aluno. Mas continuam mantendo a tradicional lista de conteúdos a serem trabalhados no Ensino Médio.

Tendo em vista a necessidade e dificuldade de inserir na prática novas metodologias de ensino-aprendizagem, a proposta desse produto educacional é apresentar um material instrucional para professores contendo uma Sequência Didática sobre Física Quântica que possibilite uma interação mais amistosa entre a teoria, a prática, o ensino e o aluno.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve por objetivo realizar uma sequência didática sobre Tópicos de Física Quântica contendo o conceito e suas aplicações no cotidiano

aplicado ao Ensino Médio por meio de atividades de diferentes estratégias desenvolvidas com alunos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (A) Averiguar a concepção dos alunos sobre o conceito de quantização;
- (B) Descrever o conceito de Quantização a partir de exemplos de aplicações práticas existentes no cotidiano dos alunos por meio de uma aula expositiva;
- (C) Manipular simulações em formato Java para exemplificar fenômenos da quantização para os alunos;
- (D) Realizar um experimento demonstrativo com LEDs para determinação aproximada da Constante de Planck com os alunos;
- (E) Caracterizar o conhecimento adquirido pelos alunos sobre o conceito de quantização e fenômenos quânticos.

3 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Duas teorias embasaram a proposta didática desenvolvida. A primeira foi a própria teoria quântica, sendo explanada de modo geral e posteriormente aprofundada em alguns tópicos. A segunda foi a teoria da aprendizagem de Ausubel, autor que estudou como alunos aprendem as diversas teorias ensinadas ao longo da trajetória acadêmica.

3.1 TEORIA DA FÍSICA QUÂNTICA

Entre os diversos livros que podem ser consultados sobre Física Quântica, selecionamos três para auxiliar os docentes na compreensão dessa teoria. São eles:

- (a) NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 1ª Edição - São Paulo: Edgard Blucher, 1998.
- (b) EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. 21ª reimpressão - Rio de Janeiro, 1979.

(c) HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos da Física 4. 4ª Edição - Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

Com base nesses livros foi construído um texto para ser trabalhado em sala de aula com os alunos (vide atividade 2).

3.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM DE AUSUBEL

Com vistas a estabelecer um referencial teórico que oriente a prática deste estudo, bem como nos dê suporte explicativo, de forma implícita ou explícita, sobre os objetivos e os resultados a serem alcançados, escolhemos o referencial de Ausubel por se tratar de um teórico e pesquisador que esteve focado no processo da aprendizagem no cotidiano acadêmico.

O enfoque teórico de Ausubel se articula no eixo das teorias construtivistas da aprendizagem, que tem como principal questão estudar como ocorre o processo de aprender a pensar e aprender a aprender, ou seja, explica os mecanismos internos que ocorrem na mente humana com relação ao aprendido e a estrutura do conhecimento (VASCONCELOS; PRAIA; ALMEIDA, 2003; PRASS, 2012).

O principal conceito da sua teoria consiste na **Aprendizagem Significativa**, que ocorre quando novas ideias vão se relacionando de forma não arbitrária e substantiva com as ideias já existentes, modificando o conhecimento. Como assinala Moreira (2010), “a aprendizagem significativa é aprendizagem com significado, compreensão, sentido, capacidade de transferência” (p.6).

Em contrapartida, segundo Ausubel existe outra forma de aprender, nomeada como **Aprendizagem Mecânica**, que consiste no oposto da aprendizagem significativa, visto que as novas informações não passam de memorizações sem significado. Por isso, as novas ideias não se relacionam de forma lógica com nenhuma das existentes. Trata-se de um conteúdo decorado, como ocorre às vezes nas provas, que depois de realizadas não se sabe mais sobre seu assunto.

Outras considerações sobre a teoria de Ausubel podem ser consultadas na pesquisa que gerou esse produto.

4 CONCEITOS FÍSICOS ABORDADOS

Para realização da sequência didática selecionamos os seguintes conceitos sobre Física Quântica para serem abordados com os alunos:

- (a) Quantização da energia;
- (b) Radiação de corpo negro;
- (c) Constante de Planck;
- (d) Lasers.

5 ROTEIRO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

5.1 ATIVIDADE 1 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO

- Item: Questionário sobre Tópicos de Física Quântica.
- Objetivo: Levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre conceitos da Física Quântica;
- Duração: 1 aula;
- Material: Folhas A4 para o Questionário.

Prezado Aluno, Solicito a sua contribuição para o preenchimento deste questionário. Esse questionário tem o objetivo de investigar se você possui algum conhecimento prévio sobre temas de Física Moderna e Contemporânea e o seu interesse em aprendê-los. NÃO há respostas corretas. O importante é que sua resposta reflita sua opinião franca em cada questão.

O resultado desta avaliação NÃO será computado em sua nota.

Nome: _____

Data: __/__/__

Turma: _____

1 – Você já ouviu falar em física quântica?

- () Sim. Onde? (nome do livro, artigo, programa, etc): _____
 () Não.

2 – Você já ouviu falar em quantização de energia?

- () Sim. Onde? (nome do livro, artigo, programa, etc): _____
 () Não

3 – Você já ouviu falar em fóton?

- () Sim. Onde? (nome do livro, artigo, programa, etc): _____
 () Não.

4 – Você já ouviu falar em leds?

() Sim. Onde? (nome do livro, artigo, programa, etc): _____

() Não

5 – Você já ouviu falar em efeito fotoelétrico?

() Sim. Onde? (nome do livro, artigo, programa, etc): _____

() Não.

Texto para as questões 6 e 7:

No modelo atômico de Rutherford (também conhecido como modelo planetário do átomo) os elétrons descrevem órbitas circulares estacionárias ao redor do núcleo. Supondo que o elétron tem uma massa m , muito menor que a massa M do núcleo. Neste caso o núcleo permanecerá em repouso e o elétron gira ao redor deste em uma órbita de raio r .

6 – Se for dado uma certa quantidade de energia a este elétron, o que acontecerá com o raio de órbita?

- a) aumentará
- b) diminuirá
- c) não mudará

7 – Se for retirado uma certa quantidade de energia a este elétron, o que acontecerá com o raio de órbita?

- a) aumentará
- b) diminuirá
- c) não mudará

8 – Você conhece algo a respeito do tema Quantização?

() Sim. Explique com suas palavras o que você sabe sobre quantização: _____

() Não

9 – Você conhece alguma aplicação tecnológica sobre Física Quântica?

() Sim Cite algum exemplo: _____

() Não

10 – Você gostaria de estudar a respeito da Física Quântica?

() Sim. O que você gostaria de estudar a respeito da Física Quântica: _____

() Não

() Tanto Faz.

5.2 ATIVIDADE 2 - AULA EXPOSITIVA

- Item: Aula expositiva com uso de apresentação de slides sobre a história da Física Quântica e texto de apoio impresso;
- Objetivo: Introduzir os principais conceitos sobre Física Quântica;
- Duração: 2 aulas;
- Material: Computador, projetor de imagens e texto de apoio impresso.

SLIDES DAS AULAS SOBRE FÍSICA QUÂNTICA

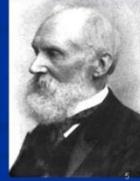
Princípios da Física Quântica

- Radiação de Corpo Negro;
- Constante de Planck;
- Quantização da energia;
- Dualidade Onda-partícula;

www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

1

- Lord Kelvin recomendou que os jovens não se dedicassem à física, pois só faltavam alguns detalhes pouco interessantes, como o refinamento de medidas.
- Lorde Kelvin: “a Física havia atingido seu limite”



www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

1

- Física quântica – transformação mais profunda pela qual a Física passou desde a época de Newton.
- Física Clássica – Lida com fenômenos macroscópicos (escala familiar - “cotidiano”)
- Possibilita a formação de imagens “intuitivas” desses conceitos com base na nossa experiência cotidiana.

www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

2

- Com as regras para o comportamento da matéria e das ondas definidas, restaria aos físicos apenas o trabalho de aplicá-las.
- Não haveria fenômenos que não pudessem ser explicados; haveria apenas o trabalho de desenvolver as técnicas existentes para sistemas complexos.

www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

2

- Física Quântica – Trata principalmente de fenômenos na escala atômica e sub-atômica. (e repercussões desses fenômenos ao nível macroscópico)
- Escala muito distante da nossa experiência!!!
- Descreve fenômenos - distâncias $\sim 10^{-15}$ cm (e até hoje não foi encontrado qualquer indício de inaplicabilidade da Física Quântica)

www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

3

- Mas resultados estranhos começavam a aumentar e as tentativas teóricas que surgiam utilizando as ideias da Física Clássica não conseguiam explicar alguns fenômenos observados.
- Alguns Experimentos que não conseguiam ser explicados:

www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

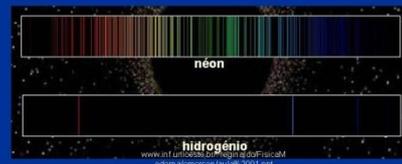
7

- As leis de Newton para a mecânica e gravitação vinham sendo aperfeiçoadas desde o Século XVII, e descreviam com grande precisão o comportamento dos corpos celestes e terrestres.
- Propriedades elétricas e magnéticas haviam sido unificadas na teoria eletromagnética por James Maxwell. Ele provou que a luz é uma onda eletromagnética que se propaga pelo espaço, assim como o são os raios-X ou o ultravioleta.

www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

4

- 1) Existência de “Espectros Discretos”, ou seja, a observação de que a radiação emitida por um gás era composta principalmente de alguns comprimentos de onda discretos.



www.inf.unioeste.br/~regin@dufiscam/odema@emerson.br/slides/2001.ppt

8

- 2) “Forma” (distribuição dos comprimentos de onda) dos espectros contínuos de radiação, característicos de corpos quentes.
- 3) “Efeito Fotoelétrico”, onde elétrons são ejetados de alguns materiais quando iluminados por radiação eletromagnética.
- 4) Própria existência e estabilidade da matéria.

www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 9

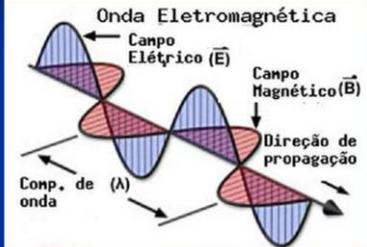
- **Corpo Negro**
- Os objetos também absorvem radiação eletromagnética. Ao atingir um objeto, parte da radiação é absorvida, parte é refletida.
- Um **corpo negro** é um objeto que absorve toda a radiação que o atinge.
- Uma maneira de representar um **corpo negro** é imaginar uma casca esférica com um pequeno furo.



Se a radiação penetra no orifício, ela permanece ali, sendo parcialmente refletida e absorvida, até que seja completamente absorvida.

www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 13

- **Onda Eletromagnética**

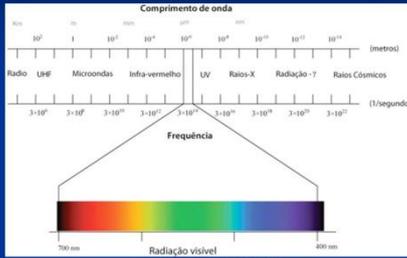


www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 10

- **Radiação de Corpo Negro**
- Quando a cavidade esférica está em uma dada temperatura T as paredes emitem radiação, que é subsequentemente absorvida e refletida.
- Eventualmente uma pequena porção de radiação pode sair pelo buraco (**radiação de corpo negro**).

www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 14

- **Espectro Eletromagnético**



www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 11

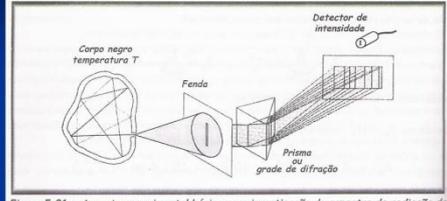


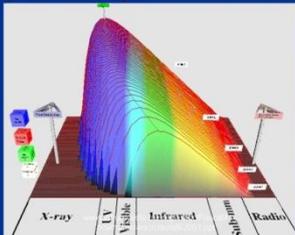
Figura 5.01 - Apareto experimental básico para investigação do espectro de radiação de um corpo negro.

www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 15

- Todos os objetos que não estão no zero absoluto emitem radiação eletromagnética.
- A Física Clássica explica esse fenômeno através da vibração térmica dos átomos e moléculas, que provoca a aceleração de cargas, emitindo radiação.

www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 12

- **Experimentalmente**, verifica-se que um **corpo negro** emite uma distribuição contínua de comprimentos de onda λ , que tem um máximo em um dado comprimento de onda $\lambda_{\text{máx}}$, que por sua vez depende da temperatura do corpo.



www.inf.unioeste.br/~regina.doFisic@M odem.al.emerson.lau.br/2001.ppt 16

- Planck postulou que a troca de energia seria "quantizada": um oscilador de frequência f só poderia emitir ou absorver energia em múltiplos inteiros de um "quantum de energia"
- Planck confessou mais tarde que foi levado a formular essa modificação 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"

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 17

- As energias possíveis de cada átomo podem ser representadas por um conjunto de "níveis de energia", como mostrados no esquema ao lado.

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 21

- Tratando a energia como se ela fosse uma variável discreta, em vez de contínua (soma em vez de integral):

$$E=0, \Delta E, 2\Delta E, 3\Delta E, \dots$$

- Com ΔE uma função crescente da frequência, sendo a forma mais simples:

$$\Delta E = h \nu$$

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 18

As flechas indicam possíveis transições entre os níveis de energia, e seus comprimentos correspondem às energias dos fótons que seriam emitidos.

O fóton mais energético, ou seja, o menor quantum de energia eletromagnética que pode ser emitido corresponde a uma transição (\downarrow) entre níveis adjacentes ($n - m = 1$).

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 22

- Para radiação visível $\rightarrow \lambda = 5000\text{\AA}$
- $f = c/\lambda \approx 6 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$
- $E = h f \approx 3,98 \times 10^{-19} \text{ J}$ (essa energia é extremamente pequena em escala macroscópica)
- Por outro lado:
- $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- $E \approx 2,5 \text{ eV}$ (energia grande em escala atômica)

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 19

- Postulado de Planck:
- "Qualquer ente físico com um grau de liberdade cuja 'coordenada' execute oscilações harmônicas simples pode possuir apenas energias totais que satisfaçam a relação: $E = n h f$, com $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$
- onde f é a frequência da oscilação e h uma constante universal."
- Exemplo:
- Pêndulo de massa 100 kg , suspenso por uma corda de $0,1 \text{ m}$ de comprimento. A amplitude de oscilação é tal que em suas posições extremas ela faz um ângulo de 60 rad com a vertical. A energia do pêndulo diminui, por exemplo, devido ao atrito. Essa diminuição é contínua ou discreta?

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 23

- Hipóteses de Planck
- Planck assumiu que os átomos nas paredes da cavidade apenas poderiam ter energias dadas por: $E_n = n h f$
- onde: n é inteiro ($0, 1, 2, 3, \dots$)
- $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ("Constante de Planck")
- f é a frequência "natural" do átomo (em Hz)

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 20

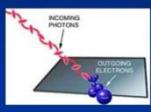
- Homem e chama no Infravermelho

- Esta imagem é do *Infrared Processing and Analysis Center at California Institute of Technology*.
- Imagem em infravermelho de uma pessoa segurando um fósforo.
- A imagem tem um código de cores para mostrar as diferenças de temperatura.

www.inf.unioeste.br/~regina@dofisicam/odem/alemerson/iau/iaf%2001.ppt 24

Efeito Fotoelétrico

- Outro problema que a Física Clássica foi incapaz de explicar foi o efeito fotoelétrico (EFE): quando superfícies de certos metais são iluminadas, elétrons (chamados **fotóelétrons**) são **emitidos**.




www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 25

- Também de acordo com a Física Clássica, o campo elétrico **E** da radiação eletromagnética incidente aceleraria os elétrons, ultrapassando as forças que o seguram na superfície. Mas
- Experimentos demonstraram que os elétrons começam a emergir quase imediatamente ($< 10^{-9}$ s) mesmo quando a luz incidente é muito fraca ($I < 10^{-10}$ W/m²).
- Se o campo elétrico da radiação EM incidente fosse responsável pela emissão do elétron, e a intensidade incidente fosse absorvida uniformemente pelos elétrons da superfície metálica, o cálculo clássico indica que **mil horas** seriam necessárias para que um único elétron absorvesse energia suficiente para ultrapassar a barreira de energia de poucos eV. ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$)

www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 29

- Em suas experiências de 1887, para **comprovar a teoria eletromagnética de Maxwell**, Hertz detectava uma onda com uma antena ressonante. Essa detecção era acompanhada de uma **faixa**.
- Ele observou que a **faixa saltava** da antena com **mais facilidade** quando ela estava **iluminada**. (principalmente ultravioleta)
- Curiosamente ao comprovar a teoria de Maxwell, coroamento da Física Clássica, Hertz estava descobrindo o **efeito fotoelétrico**, uma das primeiras evidências experimentais da **quantização**.

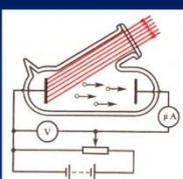
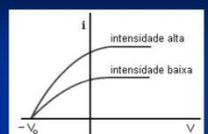
www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 26

- Em 1905, Einstein demonstrou que este resultado experimental poderia ser explicado se a energia luminosa **não fosse distribuída continuamente no espaço**, mas fosse **quantizada** como pequenos pulsos, cada qual denominado um fóton com energia **hf**.
- Um elétron ejetado de uma superfície metálica exposta à luz, recebe a energia necessária de um **único fóton**.
- Quando a intensidade da luz, de uma certa frequência, for aumentada, maior será o número de fótons que atingem a superfície por unidade de tempo, porém a energia absorvida por um elétron **não aumenta**.
- Se ϕ for a energia necessária para remover um elétron de uma superfície metálica, a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pela superfície será:

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\text{máx.}} = eV_0 = hf - \phi$$

www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 30

Efeito Fotoelétrico: Experimento

- Observa-se, experimentalmente, que um aumento extra de **V** não afeta a corrente. A **corrente máxima** era proporcional à **intensidade da luz**.
- Quando **V** for negativo, os elétrons são **repelidos** pelo anodo.

www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 27

- Porque quando um fóton atinge o cátodo e é **absorvido**, por um elétron, sua energia é passada ao elétron. Parte da energia é usada para superar a **ligação** do elétron à superfície, e o que sobra será a energia cinética do elétron **K**, após ele deixar a superfície:

$$K = hf - (\text{Energia de Ligação})$$

- A **energia mínima** com a qual um elétron está ligado ao metal é chamada **função trabalho** do metal ϕ . Muitos metais tem uma função trabalho da ordem de 4 - 5 eV.
- Portanto, a **energia cinética mínima** do fotoelétron liberado será:

$$K_{\text{máx.}} = hf - \phi$$

www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 31

- Somente os elétrons que tenham as energias cinéticas iniciais $\frac{1}{2}mv^2$ maiores que **|eV|** podem atingir o anodo. Pela figura anterior podemos ver que se **V** for menor que **-V₀**, nenhum elétron consegue chegar ao anodo. O potencial **V₀** é o **potencial de frenamento** o qual está relacionado com a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pela superfície pela relação:

$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{\text{máx.}} = eV_0$$

- O resultado experimental, da independência de **V₀** em relação à intensidade da luz incidente, era **surpreendente**.
- Na visão clássica, o **aumento da taxa de energia luminosa** incidente sobre a superfície do catodo deveria **aumentar a energia absorvida pelos elétrons** e deveria, por isso, **aumentar a energia cinética máxima dos elétrons emitidos**.

www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 28

- Portanto elétrons serão ejetados se **hf > ϕ**
- Se **hf < ϕ** a única possibilidade de que elétrons sejam liberados seria se muitos fótons pudessem ser absorvidos simultaneamente. Isso é pouco provável, **e não, no caso de faixas laser muito intensas**.
- Elétrons são liberados tão logo o primeiro fóton é absorvido. Não importa **quão pequena** seja a intensidade **I**, cada fóton ainda tem energia **E = hf**
- K_{máx.}** depende apenas da **frequência** dos fótons e não da quantidade de fótons.
- Luz intensa contém mais fótons, e portanto irá liberar mais elétrons.

www.inf.unioeste.br/~regina.dofisicam/odem/alemerson/iaulq%2001.ppt 32

- **Resistência a nova teoria:**
- **Millikan**, por exemplo, não acreditou na teoria e passou **doz anos** fazendo uma série de experiências com objetivo de demonstrar que a predição de Einstein era incorreta.
- Porém depois desse tempo ele mesmo falou: “**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 que conhecíamos sobre interferência da luz**”

www.inf.unioeste.br/~reginaldoFisicaM/edem/alemerson/au/au%2001.ppt 33

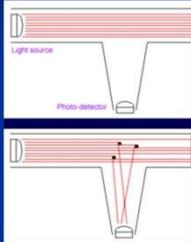
- “Em suma, pode-se afirmar que não há praticamente nenhum dos grandes problemas em que a física moderna é tão rica, ao qual Einstein não tenha dado alguma notável contribuição. (Que de as vezes tenha estado o alvo em suas especulações, como por exemplo em sua hipótese dos “quanta de luz”, não pode ser realmente tratado como uma acusação muito contra ele, pois não é possível introduzir ideias verdadeiramente novas, mesmo nas ciências mais exatas, sem correr alguns riscos de van em quando”
- Em 1921 Einstein recebeu o prêmio Nobel pela teoria do efeito fotoelétrico!

www.inf.unioeste.br/~reginaldoFisicaM/edem/alemerson/au/au%2001.ppt 35

- **Resistência a nova teoria:**
- Um pouco antes, **em 1913**, quatro físicos alemães, entre os quais se incluía **Planck** encaminharam à Academia de Ciências da Prússia uma proposta inusitada: a eleição para membro titular de Albert Einstein, que então tinha apenas 34 anos:
- A proposta terminava dizendo:

www.inf.unioeste.br/~reginaldoFisicaM/edem/alemerson/au/au%2001.ppt 34

- **Aplicações: Detectores de fumaça**



Dentro do detector há luz e um sensor, mas posicionados formando um ângulo de 90 graus. No caso normal, a luz da fonte à esquerda segue em linha reta e não atinge o sensor.

Mas quando fumaça entra na câmara, as partículas de fumaça **espalham a luz**, e parte dessa luz pode vir a atingir o sensor

www.inf.unioeste.br/~reginaldoFisicaM/edem/alemerson/au/au%2001.ppt 36

TEXTO DE APOIO

O SURGIMENTO DA FÍSICA QUÂNTICA



A história das grandes transformações sofridas pela física e que culminaram na formulação da mecânica quântica na segunda metade da década de 1920 começou no primeiro ano do século, quando Max Planck (1858-1947) propôs explicar, através de uma hipótese que a ele próprio repugnava, o espectro de radiação do corpo negro.

Um pequeno orifício aberto em um corpo oco representa aproximadamente um “corpo negro” (não confundir com “buraco negro”, que é algo muito diferente!). Tal orifício aparecerá negro para corpos em temperaturas usuais, daí advindo o seu nome. No entanto, à medida que a temperatura se eleva, o orifício se torna vermelho, depois amarelo e, finalmente, branco (neste ponto, ou mesmo antes, o material se funde; fenômeno do mesmo tipo pode ser observado aquecendo-se um pedaço de metal.). A cada temperatura corresponde uma coloração da luz emitida, que resulta da mistura de radiações luminosas de diferentes frequências; cada frequência contribui na mistura em uma determinada proporção, fornecendo uma determinada parcela de energia à energia total irradiada pelo orifício. Essas proporções podem ser medidas experimentalmente. A figura abaixo

mostra o gráfico de uma grandeza proporcional à energia irradiada em função do comprimento de onda.

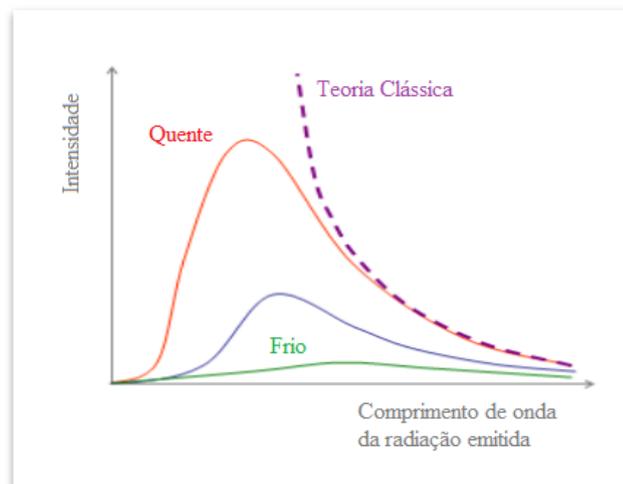
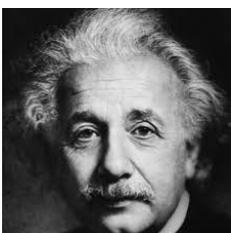


Figura 1: Espectro de radiação do corpo negro, para $T=1600$ K.

Cálculos dessa grandeza a partir das teorias clássicas - eletromagnetismo, mecânicas clássica e estatística - fornecem resultados em completo desacordo com os dados empíricos, como se vê no gráfico (curva de Rayleigh-Jeans), exceto na região de altos comprimentos de onda (ou baixas frequências). Essa discrepância constituiu um problema grave para a física do final do século passado. Depois de várias tentativas fracassadas de obter os resultados experimentais corretos através de manipulações nas teorias clássicas, Planck percebeu que com a simples introdução da hipótese de que os osciladores eletrônicos, responsáveis pela emissão da radiação eletromagnética (luz), só podem vibrar com determinados valores de energia podia obter previsões teóricas em perfeito acordo com a experiência. Ora, tal hipótese, além de servir para essa finalidade, não parecia ser fisicamente admissível, dada a sua incompatibilidade com um ponto básico das teorias da época. A quantização da energia de oscilação dos elétrons conflita com o caráter contínuo da energia, conforme sempre se aceitou, e com boas razões, inclusive de ordem experimental.

Apesar da repugnância que lhes causava, e a desestruturação das bases da física que acarretava, essa hipótese acabou sendo provisoriamente tolerada pelos físicos, pois era a única de que se dispunha para dar conta dos fatos. Prosseguiu-se, porém, imaginando que a quantização ocorreria apenas nos osciladores eletrônicos atômicos, mas não na energia irradiada, que, segundo o eletromagnetismo, se propaga na forma de ondas eletromagnéticas.



Em 1905, porém, Einstein (1879-1955) propôs, no segundo dos três artigos que publicou naquele mesmo ano (do primeiro já falamos; o terceiro artigo deu a público a teoria da relatividade especial), que a quantização deveria ser

estendida à energia eletromagnética livre. Essa ideia de Einstein, talvez ainda mais inaceitável que a de Planck, surgiu no contexto de suas investigações de um fenômeno descoberto por Hertz (1857-1894) em 1887, o chamado efeito fotoelétrico. Tal efeito consiste no favorecimento da emissão de raios catódicos (elétrons) propiciado pela incidência de luz sobre o cátodo. Um esquema simplificado do aparelho para a observação do efeito é o seguinte:

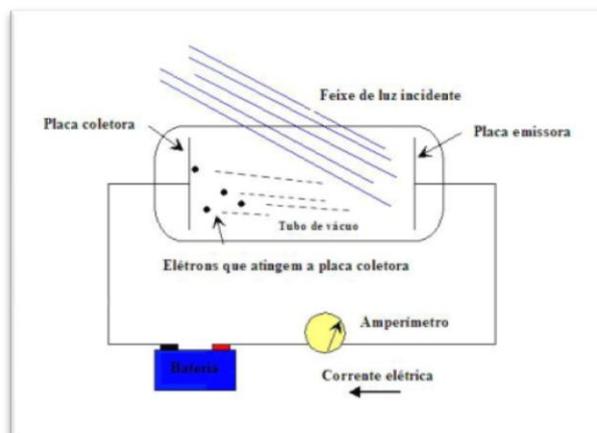


Figura 2: O efeito fotoelétrico.

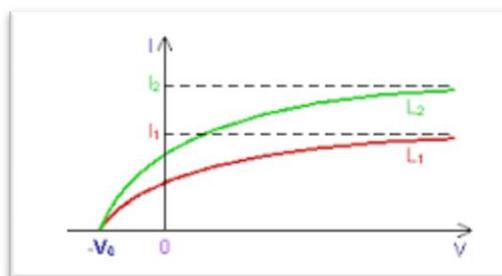


Figura 3: Gráfico do efeito fotoelétrico.

Até o trabalho de Einstein, esse fenômeno não despertou muito a atenção dos físicos. Supunha-se que a energia transferida pelas ondas eletromagnéticas de luz aos elétrons do cátodo provocava o seu desprendimento, para que se movessem na direção do ânodo, formando-se assim uma corrente elétrica através do circuito. Ao propor que a energia eletromagnética da luz era quantizada, ou seja, que se propagava em “pedaços”, ou “quanta” (posteriormente batizados com o nome de fótons), Einstein previu que se fossem realizados experimentos para a medição de certos parâmetros do efeito fotoelétrico, os resultados mostrariam que sua hipótese, e somente ela, forneceria as previsões corretas. Essas inusitadas previsões eram: 1) que a energia cinética dos elétrons independeria da intensidade da luz; 2) que existiria uma frequência de corte da luz incidente, abaixo da qual o efeito cessa, não importando quão intensa seja a luz; e 3) que os elétrons seriam ejetados imediatamente, não importando quão baixa seja a intensidade da luz.

Ora, essas três previsões contrariam de modo frontal as previsões clássicas, que partem do pressuposto de que a luz é uma onda eletromagnética, e que, portanto a energia que transporta se distribui continuamente pelo espaço.

Para perplexidade geral, medições cuidadosas realizadas em 1914, pelo grande experimentalista americano Robert Millikan (1868-1953), confirmaram as previsões de Einstein. Foi por este trabalho e pela determinação da razão carga/massa do elétron que Millikan ganhou o Prêmio Nobel, em 1923; e foi por haver explicado (antecipadamente!) as observações de Millikan que Einstein ganhou o seu, em 1921.

Uma importante confirmação independente da hipótese do quantum de luz surgiu em 1923, com a detecção, pelo físico americano Arthur Compton (1892-1962), de um fenômeno que ficou conhecido como efeito Compton. Em seu experimento Compton bombardeou um alvo de grafite com raios-X de uma dada frequência. Medindo a frequência da radiação espalhada pelo alvo, verificou que surgia, ao lado da esperada radiação com a frequência da radiação incidente, outra com frequência menor. Em termos da teoria ondulatória da radiação eletromagnética - e tinha-se como certo que os raios-X eram uma radiação desse tipo, já que se haviam observado difração e interferência de raios-X - a existência da radiação “anômala” detectada era completamente inexplicável. Se se assume, porém, que os raios-X também são quantizados, ou seja, consistem de “partículas”, o efeito pode ser explicado em termos simples. Ao colidir com os elétrons do grafite, tais partículas transferem-lhes parte de sua energia, sendo pois refletidas com menos energia do que tinham antes. Essa perda de energia pode ser calculada pelas leis da mecânica relativista de Einstein. Usando então a relação entre energia e frequência proposta por Planck e Einstein, ou seja, $E = hf$ (onde h é a chamada constante de Planck), pode-se calcular o quanto essa perda de energia significa em termos de diminuição de frequência. O valor obtido concorda perfeitamente com os dados experimentais. Por esse trabalho, que forneceu esmagadora evidência à natureza corpuscular da radiação eletromagnética, Compton recebeu o Prêmio Nobel em 1927.

As investigações de Planck, Einstein, Millikan e Compton ressuscitaram as discussões sobre a natureza da luz, que se julgava extintas pelo final do século passado.

Agora, porém, estava-se diante de uma dificuldade com que a física nunca topara antes. É que não se podia simplesmente abandonar a concepção ondulatória da luz para retomar a concepção corpuscular. Se se fizesse isso, se solucionariam os novos problemas (explicar o espectro do corpo negro e os efeitos fotoelétrico e Compton), mas à custa da exumação de vários outros que pareciam definitivamente resolvidos pela teoria ondulatória eletromagnética de

Maxwell (1831-1879) (difração e interferência da luz, correlações entre os parâmetros ópticos e eletromagnéticos). Os físicos viam-se por assim dizer entre a cruz e a espada: conserta-se de um lado para estragar do outro, e vice-versa. Ambas as concepções de luz, ondulatória e corpuscular, são requeridas para a explicação da totalidade dos fenômenos. O nó da questão é que tais concepções são claramente inconciliáveis. Veremos agora que embaraço análogo envolve as concepções de átomo, elétron, próton, etc.

Narramos acima, em termos brevíssimos, a história da teoria atômica, e vimos como a hipótese de que a matéria dita “ponderável” é composta de corpúsculos de algum tipo se tornou aceita pela comunidade científica no início de nosso século. Sua incorporação à teoria química de Dalton (1766-1844) e à mecânica estatística, seu uso por Einstein na explicação do movimento browniano, e a confirmação empírica das equações que obteve, as investigações experimentais de J. J. Thomson (1856-1940), Rutherford e colaboradores, e finalmente o sucesso do modelo atômico de Bohr (1885-1962) na previsão de fenômenos importantes, praticamente eliminavam as dúvidas de que a matéria ponderável seria descontínua, constituída de pequenos “pedaços”.

No entanto, como também já mencionamos, a teoria quântica velha de Bohr, que representava o refinamento máximo alcançado pela teoria atômica, era insatisfatória do ponto de vista de sua consistência e de seus fundamentos, além de sofrer sérias limitações em sua capacidade de previsão quantitativa. Do ponto de vista mecânico, o que havia de mais estranho era a quantização das energias, e portanto das órbitas, dos elétrons. Por que motivo os elétrons não podiam orbitar senão a determinadas distâncias do núcleo?

Intrigado com essa questão, o jovem nobre francês Louis de Broglie (1892-1987) imaginou o seguinte: Na física, os únicos fenômenos que exibem uma quantização desse tipo são determinados fenômenos ondulatórios. (O ar nos tubos de um órgão e as cordas de um piano, por exemplo, só vibram em determinadas frequências.) Também, se os trabalhos de Planck, Einstein e Compton haviam mostrado que a radiação eletromagnética, tida como um tipo de onda, às vezes se comporta como se fosse composta de partículas, por uma questão estética (simetria) talvez devamos esperar que os átomos, elétrons e outros entes tidos como partículas, às vezes se comportem como ondas...

Motivado por tais ideias, de Broglie resolveu arriscadamente desenvolvê-las em sua tese de doutorado. Sua proposta era a de que a cada partícula (elétron, átomo, etc.) estaria associada uma “onda de matéria” que ditaria parcialmente o seu comportamento. Essa onda teria uma frequência determinada pela energia da partícula através da mesma equação que Einstein usara para determinar a energia do fóton a partir de sua frequência, ou seja,

$E = hf$.

Naturalmente, a proposta causou estranheza, e o orientador do aspirante a cientista, Paul Langevin (1872-1946), resolveu, por prudência, fazer o trabalho de seu pupilo passar pelo crivo de Einstein, antes da defesa de tese. Para a salvação de de Broglie, o cientista apoiou entusiasticamente sua ideia, que, enfatizamos, não estava apoiada em nenhuma evidência empírica direta. Assim, de Broglie recebeu o seu título, em 1924 e, cinco anos depois, o Prêmio Nobel. A confirmação experimental da ideia de de Broglie tem uma história interessante. Respondendo a um membro da banca examinadora, na Sorbonne, de Broglie disse que sua ideia poderia ser verificada projetando-se um feixe de elétrons sobre um cristal: efeitos de difração e interferência seriam observados, como se se tratasse de uma onda. Ninguém acreditou; mas em todo o caso o trabalho contava com o apoio de Einstein... Através do próprio Einstein, a estranha idéia chegou, via Max Born (1882-1970), a James Franck (1882-1964), chefe do departamento de física experimental de Göttingen. Franck percebeu que a experiência sugerida por de Broglie de fato já havia sido realizada um ou dois anos antes por Clinton Davisson (1881-1958) e Charles Kunsman (1870-1970), nos Estados Unidos. Mas os resultados foram interpretados de outro modo, visto que ninguém ousava sequer imaginar que pudesse ocorrer difração de elétrons. Após a incorporação da ideia de de Broglie na teoria quântica completa, desenvolvida em 1925 e 1926 por Heisenberg (1901-1976) e Schrödinger (1887-1961), ela passou a ser levada a sério, e Davisson repetiu suas experiências, com um novo assistente, Lester Germer (1896-1971), desta vez com o objetivo específico de investigar a existência das tais “ondas de elétrons”. Paralelamente, experimentos semelhantes foram levados a cabo em Cambridge, Inglaterra, por George Thomson (1892-1975), filho do famoso J. J. Thomson, e por seu assistente Alexander Reid. Os resultados dessas experiências confirmaram de modo inequívoco o comportamento ondulatório dos elétrons, e Davisson e G. Thomson dividiram o Prêmio Nobel de 1937. É cômico observar que J. J. Thomson recebeu o Prêmio em 1906 por haver mostrado que o elétron é uma partícula, e que seu filho mereceu a mesma condecoração trinta e um anos mais tarde por haver mostrado que o elétron é uma onda!

Conforme já dissemos, esses desenvolvimentos no estudo da estrutura da matéria geraram um impasse análogo ao que entrou as investigações sobre a natureza da luz. Aqui também a totalidade dos fenômenos só pode ser explicada pelo uso de ambas as concepções, a de partícula e a de onda, claramente incompatíveis. Os experimentos de Davisson e Thomson são fisicamente equivalentes à experiência de difração e interferência de ondas que atravessam dois orifícios próximos abertos em um anteparo (ver Fig. 4 das notas “Características conceituais básicas da física clássica”). Isso ocorre tanto com a luz como com elétrons, nêutrons, etc., indicando que tais entidades

comportam-se, pelo menos nesta situação experimental, como ondas. Não é possível explicar efeitos desse tipo sem recorrer a ondas.

O que é misterioso é que em outras situações essas mesmas entidades comportassem como partículas. Se, por exemplo, colocarmos detectores de “coisas” quânticas em cada um dos orifícios do aparelho de interferência, verificaremos que a “coisa” sempre é registrada por um ou por outro, mas nunca por ambos, como seria o caso se ela fosse uma onda. Porém nesse experimento modificado evidentemente não é mais possível observar o fenômeno de interferência, já que as “coisas” são absorvidas pelos detectores.

Outra maneira de ver a dificuldade consiste em colocar detectores diminutos ao longo de toda a linha AB, da Figura 4 das notas “Características conceituais básicas da física clássica”. Mais uma vez, quer se trate de luz, quer de elétrons, etc., será sempre apenas um detector que irá “clicar”, registrando a chegada da “coisa”, o que significa que ela é algo localizado no espaço, ou seja, um corpúsculo. Por outro lado, se acumularmos os dados dos diferentes detectores durante um tempo suficiente, e com tais dados elaborarmos um gráfico do número de clics de cada detector, o resultado será o gráfico de intensidades visto à direita da Figura 4. E esse gráfico só pode ser explicado assumindo-se que as coisas quânticas são ondas, e que portanto passaram pelos dois orifícios ao mesmo tempo!

Para testar-se a explicação concebível, de que essas observações seriam devidas a algum tipo desconhecido de interação entre duas coisas quânticas, ao longo de seu trajeto, foram realizados experimentos com fontes de coisas quânticas que as emitem a largos intervalos, de modo que apenas uma delas por vez esteja entre a fonte e os detectores. Os resultados foram os mesmos do que no caso dos experimentos ordinários, com fontes de alta intensidade, nos quais em cada instante muitas partículas encontram-se em trânsito. Portanto, é uma mesma coisa quântica que, sozinha, desempenha os papéis de onda e de partícula.

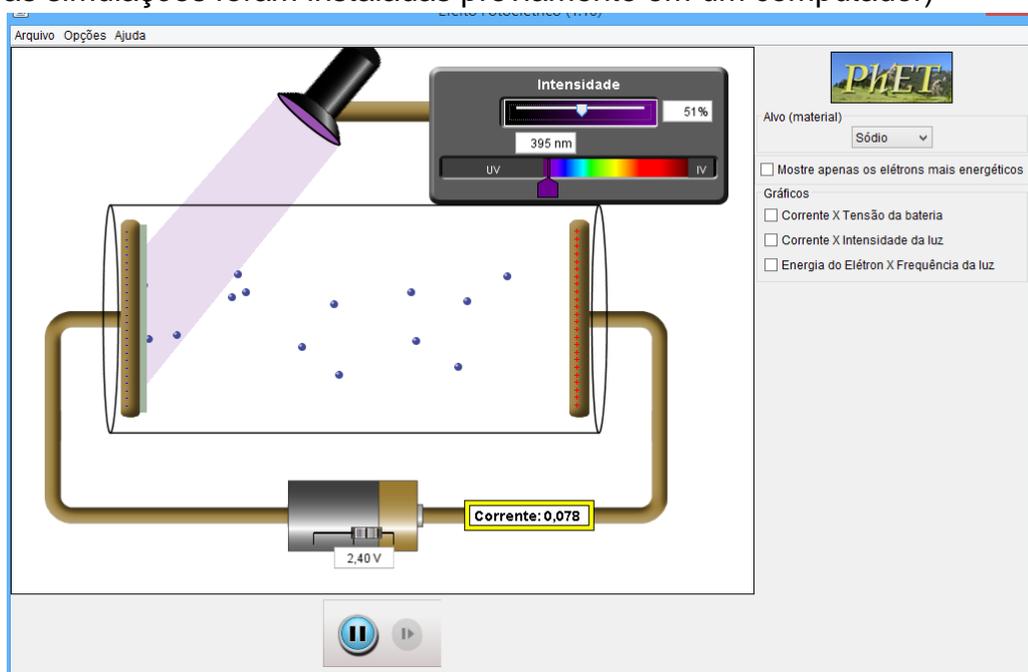
Quando o homem alcançou os mais amplos progressos na investigação dos constituintes básicos do mundo, reconheceu que os conceitos de que tradicionalmente se serviu para representar a realidade mostraram-se inadequados. As coisas que formam o mundo não podem ser descritas nem como corpúsculos nem como ondas, embora sempre se comportem ora como estas, ora como aqueles, dependendo da situação. Não há uma reflexão visualizável que permita unificar essa descrição.

Pode-se agora perguntar como, diante de uma situação tão paradoxal, pôde a física assistir à criação da mecânica quântica, a mais abrangente, profunda e precisa teoria científica de todos os tempos. Essa teoria é responsável por praticamente todo o progresso tecnológico de nossa era, dos transistores aos chips, dos raios laser aos reatores nucleares, dos

supercondutores à engenharia genética. Nossa admiração aumenta quando observamos que a mecânica quântica foi desenvolvida de modo independente e quase simultâneo por duas pessoas, o alemão Werner Heisenberg e o austríaco Erwin Schrödinger. E em um certo sentido também pelo inglês Paul Dirac (1902-1984). Embora diferindo muito em sua estrutura e em seus conceitos básicos, verificou-se depois que as teorias formuladas por esses físicos são na verdade equivalentes.

5.3 ATIVIDADE 3 – MANIPULAÇÃO DE SIMULAÇÕES EM FORMATO JAVA

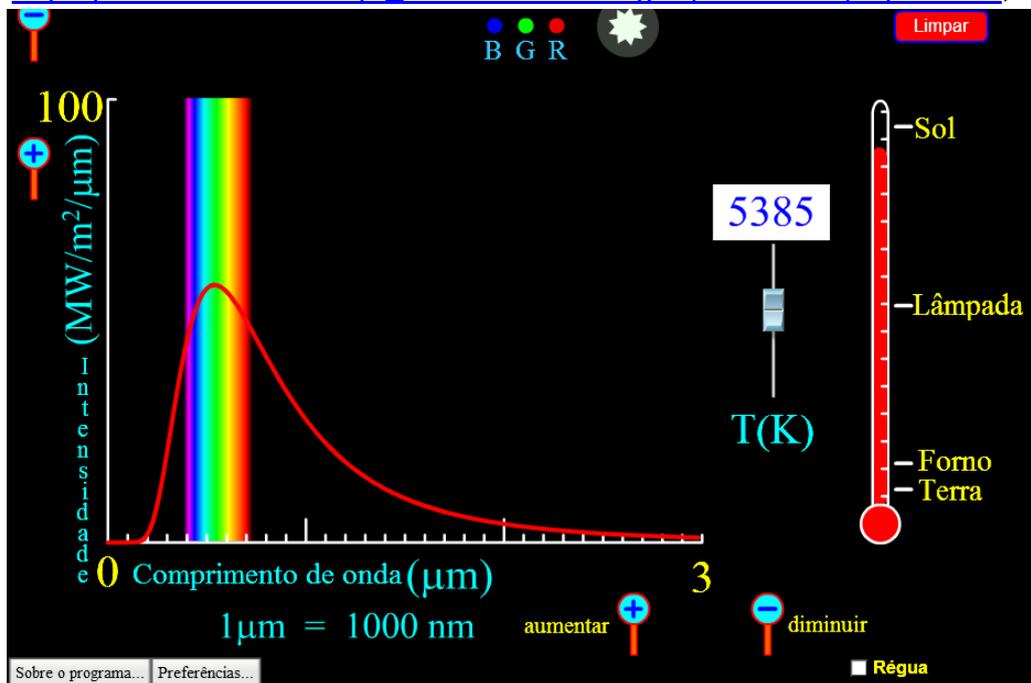
- Item: Simulação – Efeito Fotoelétrico -
http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric;
 (Por não haver laboratório de informática tampouco acesso à internet, as simulações foram instaladas previamente em um computador)



- Objetivo: Trazer uma explicação sucinta sobre o efeito fotoelétrico através da variação dos parâmetros manipuláveis na simulação, tais como: tensão de aceleração, frequência da radiação incidente, intensidade da radiação incidente e o tipo de metal;
- Duração: 1 aula
- Material: Projetor Digital e Computador para a simulação;

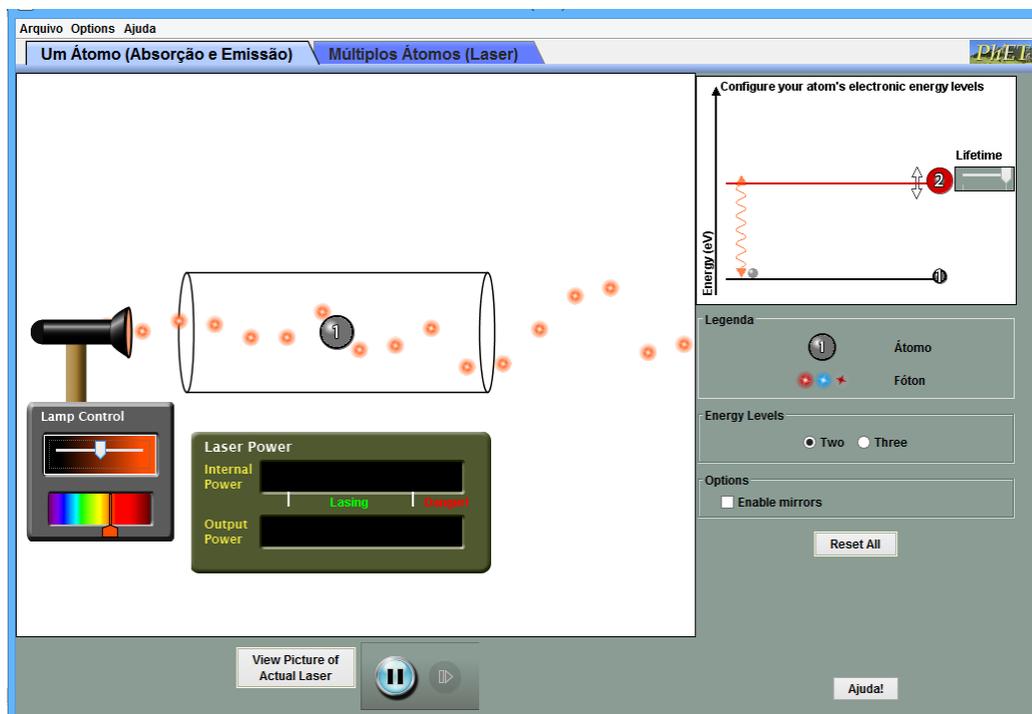
5.4 ATIVIDADE 4 - MANIPULAÇÃO DE SIMULAÇÕES EM FORMATO JAVA

- Item: Simulação – Radiação de corpo negro e Lasers-
http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/blackbody-spectrum;



- Objetivo: Mostrar graficamente a cor que erradia com maior potencia para diferentes valores de temperatura absoluta;
- Duração: 20 mim

- Item: Simulação – Lasers -
http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/lasers
 (Por não haver laboratório de informática tampouco acesso à internet, as simulações foram instaladas previamente em um computador)



- Objetivo: Traz uma explicação sucinta sobre a produção de laser através da variação dos parâmetros manipuláveis na simulação, tais como: tensão de aceleração, frequência da radiação incidente, intensidade da radiação incidente e o tipo de metal;
- Duração: 20 mim
- Material: Projetor Digital e Computador para as simulações;

5.5 ATIVIDADE 5 - EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO COM LEDS PARA DETERMINAÇÃO APROXIMADA DA CONSTANTE DE PLANCK

- Item: Experimento para determinar a constante de Planck.
- Objetivo: Medir a tensão e a corrente para diferentes cores de led e também do led infravermelho;
- Duração: 1 aula;
- Material: Folhas A4 com tabela para anotar tensão e corrente e papel milimetrado para traçar gráfico; 2 multímetros, leds, suporte para pilhas e pilhas AAA, fios, potenciômetro.

ROTEIRO DO EXPERIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANCK UTILIZANDO LED'S

OBJETIVOS:

- 1) Determinar o comprimento de onda da radiação emitida pelos LED's utilizando gráficos de espectros de emissão.
- 2) Levantar as curvas características I-V para cada LED.
- 3) Obter a constante de Planck.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA:

A passagem de corrente elétrica através de uma junção p-n diretamente polarizada implica em liberação de energia devida à recombinação de elétrons em abundância na banda de condução no lado n da junção com os buracos na banda de valência no lado p da junção. Nesse processo os elétrons, ao atingirem a banda de condução no lado p, decaem para a banda de valência através da barreira de energia designada por E_g . Nos LED's essa energia é liberada na forma de ondas eletromagnéticas com frequências que podem estar na faixa do visível ou do infravermelho para os LED's comumente encontrados em aplicações comerciais (como em indicadores de aparelhos eletrônicos, controles remotos etc). Assumindo a ocorrência de recombinação direta dos elétrons com os buracos através da junção, com toda a energia envolvida sendo convertida em energia do fóton, então a seguinte equação é válida:

$$hf = E_g, \quad (1)$$

onde h é a constante de Planck e f é a frequência da radiação emitida. A diferença de potencial V aplicada ao LED na polarização direta, aproximadamente constante, corresponde à energia (por unidade de carga) fornecida aos elétrons para vencerem a barreira de energia entre o lado n e o lado p existente inicialmente (na ausência de tensão aplicada). Igualando a energia fornecida pela fonte de tensão aos elétrons com a energia da barreira, temos portanto:

$$eV \cong E_g \quad (2)$$

Se a ddp V fosse exatamente constante na polarização direta, combinando-se as Eqs. 1 e 2 seria possível assim a determinação imediata da constante de Planck a partir das medidas de V e de f , através da expressão:

$$eV \cong hf \quad (3)$$

Na prática ocorrem outros efeitos na propagação de corrente através do LED polarizado diretamente, como a presença de uma resistência elétrica intrínseca ao diodo que leva a curva I–V a possuir uma porção aproximadamente linear para tensões bem acima do limiar de condução. Assim, a determinação de qual valor de V deve ser empregado na Eq. 2 é algo arbitrária.

O método mais empregado para a obtenção da constante de Planck corresponde a traçar uma reta tangente à porção linear na parte final da curva I–V, obtendo-se por extrapolação o valor V_{ext} para o qual essa reta corta o eixo horizontal (veja a Fig. 1).

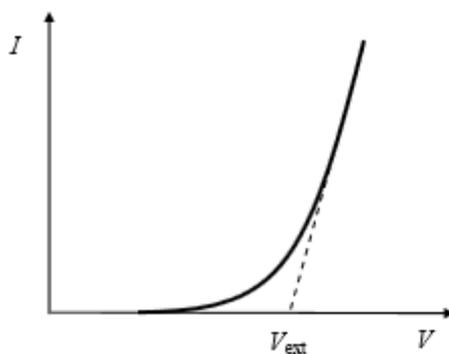


Figura 1: Obtenção da tensão V_{ext} a partir da curva I-V.

Esse valor de tensão não pode ser diretamente empregado na Eq. 3, mas a variação de V_{ext} com a frequência f da radiação emitida pelos LED's fornece uma relação linear a partir da qual a constante de Planck pode ser obtida.

EQUIPAMENTOS:

- LED's (verde, amarelo e vermelho, infravermelho)
- Fonte de tensão (pilhas AA)
- Multímetros

EXPERIMENTO:

- 1) Determinação do comprimento de onda da radiação emitida pelos LED's: Utilizando gráficos de espectros de emissão meça o comprimento de onda de cada LED. Faça várias medidas.
- 2) Levantamento da curva I–V para os LED's: A montagem do circuito para levantamento das curvas I–V encontra-se indicada na Fig. 2.

5.6 ATIVIDADE 6 - CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DOS GRÁFICOS

- Item: Análise dos gráficos feitos pelos alunos e demonstração do cálculo da constante de Planck.
- Objetivo: Calcular o valor da constante de Planck;
- Duração: 1 aula;
- Material: Folhas A4;

5.7 ATIVIDADE 7 - QUESTIONÁRIO FINAL

- Item: Questionário final sobre Tópicos de Física Quântica.
- Objetivo: Levantar os conhecimentos adquiridos dos estudantes sobre conceitos da Física Quântica;
- Duração: 1 aula;
- Material: Folhas A4 para o Questionário.

Prezado Aluno, solicito a sua contribuição para o preenchimento deste questionário. Esse questionário tem o objetivo de investigar se você obteve conhecimento sobre Tópicos de Física Quântica. NÃO há respostas corretas. O importante é que sua resposta reflita sua opinião franca em cada questão.

O resultado desta avaliação NÃO será computado em sua nota.

Nome:

Data: __/__/__

Turma: _____

01) Um corpo negro sempre aparenta ser negro?

() Sim. () Não.

02) Nas experiências do efeito fotoelétrico, a corrente (número de elétrons emitidos por unidade de tempo) é proporcional à intensidade da luz?

() Sim. () Não

03) Um fóton tem massa?

() Sim. () Não.

04) Mesmo para radiação incidente monocromática (luz de apenas uma cor) os fotoelétrons são emitidos com velocidades diferentes?

() Sim. () Não

05-(UFRS-RS) Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo. O ano de 1900 pode ser considerado o marco inicial de uma revolução ocorrida na Física do século XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um

artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a ideia da _____ da energia, da qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.

- a) conservação b) quantização c) transformação
d) conversão e) propagação

06-(UNEB-BA) De acordo com o físico Max Planck, que introduziu o conceito de energia quantizada, a luz, elemento imprescindível para manutenção da vida na Terra, como toda radiação eletromagnética, é constituída por pacotes de energia denominados:

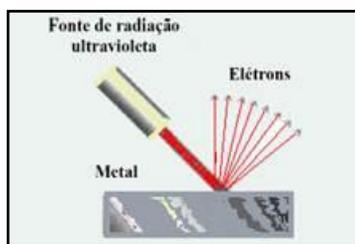
- a) bárions. b) dipolos. c) íons.
d) pulsos. e) fótons.

07-(UFRS) A tabela mostra as frequências (f) de três ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo. Comparando-se essas três ondas, verifica-se que:

Ondas	f (Hz)
x	$3 \cdot 10^{17}$
y	$6 \cdot 10^{14}$
z	$3 \cdot 10^{14}$

- a) a energia de um fóton associado à onda X é maior do que a energia de um fóton associado à onda Y.
b) o comprimento de onda da onda Y é igual ao dobro do da onda Z.
c) à onda Z estão associados os fótons de maior energia e de menor quantidade de movimento linear.
d) a energia do fóton associado à onda X é igual à associada à onda Y
e) as três ondas possuem o mesmo comprimento de onda.

08-(UNIMONTES-MG) O efeito fotoelétrico ocorre quando uma radiação eletromagnética, por exemplo a ultravioleta, incide sobre uma placa metálica, provocando a emissão de elétrons por essa placa, como mostra a figura a seguir:



Esse efeito tem aplicações importantes em sistemas como alarmes, portões eletrônicos, etc. O efeito fotoelétrico foi também utilizado por Bohr para propor seus postulados. Relacionando tal efeito com o modelo atômico proposto por Bohr, é INCORRETO afirmar que:

- a) o elétron deve receber uma energia mínima suficiente para sua emissão da placa metálica.
- b) a emissão de elétrons que estiverem mais próximos do núcleo requer radiação mais energética.
- c) a quantidade de energia, para que ocorra o efeito fotoelétrico, é a mesma para qualquer metal.
- d) a radiação absorvida, em parte, é convertida em energia cinética pelo elétron que foi emitido.

09-(UFRGS) "De acordo com a teoria formulada em 1900 pelo físico alemão Max Planck, a matéria emite ou absorve energia eletromagnética de maneira _____ emitindo ou absorvendo _____, cuja energia é proporcional à _____ da radiação eletromagnética envolvida nessa troca de energia".

Assinale a alternativa que, pela ordem, preenche corretamente as lacunas:

- a) contínua - quanta - amplitude
- b) descontínua - prótons - frequência
- c) descontínua - fótons - frequência
- d) contínua - elétrons - intensidade
- e) contínua - nêutrons - amplitude

10-(PUC-MG) O efeito fotoelétrico é um fenômeno pelo qual:

- a) elétrons são arrancados de certas superfícies quando há incidência de luz sobre elas.
- b) as lâmpadas incandescentes comuns emitem um brilho forte.
- c) as correntes elétricas podem emitir luz.
- d) as correntes elétricas podem ser fotografadas.
- e) a fissão nuclear pode ser explicada.

11-(UFMG-MG) Utilizando um controlador, André aumenta a intensidade da luz emitida por uma lâmpada de cor vermelha, sem que esta cor se altere. Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que a intensidade da luz aumenta porque:

- a) a frequência da luz emitida pela lâmpada aumenta.
- b) o comprimento de onda da luz emitida pela lâmpada aumenta.
- c) a energia de cada fóton emitido pela lâmpada aumenta.
- d) o número de fótons emitidos pela lâmpada, a cada segundo, aumenta.

12-(ENEM-MEC) O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

- a) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
- b) da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- c) da amplitude e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- d) do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
- e) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.

Respostas do Questionário final

- 1) Não
- 2) Sim
- 3) Não
- 4) Sim
- 5) B
- 6) D
- 7) A
- 8) C
- 9) C
- 10)A
- 11)D
- 12)B