

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Uma Proposta de Unidade de Ensino sobre a Antiga Teoria Quântica como Instrumento Pedagógico Alternativo

ALESSANDRO XAVIER DA SILVA CARVALHO

**CUIABÁ - MT
2017**

ALESSANDRO XAVIER DA SILVA CARVALHO

**Uma Proposta de Unidade de Ensino sobre a Antiga Teoria
Quântica como Instrumento Pedagógico Alternativo**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* da Universidade Federal de Mato Grosso e ao Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Rodrigues de França Bento

**CUIABÁ - MT
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

C33lp Carvalho, Alessandro Xavier da Silva.
Uma Proposta de Unidade de Ensino sobre a Antiga Teoria Quântica como Instrumento Pedagógico Alternativo / Alessandro Xavier da Silva Carvalho. -- 2017
viii, 82f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Rodrigues de França Bento.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional - PROFIS - Mestrado, Cuiabá, 2017.
Inclui bibliografia.

1. Ensino. 2. Física. 3. Teorias de aprendizagem. 4. Teoria Quântica. 5. Material Didático. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(s) autor(es).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL - PROFIS
Av. Fernando Costa, 2367 - Boa Esperança - Cep: 78060900 - Cuiabá/MT
Tel: 3615-8788 - Email:

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "Uma Proposta de Unidade de Ensino sobre a antiga Teoria Quântica como instrumento pedagógico alternativo"

AUTOR: Alessandro Xavier da Silva Carvalho

defendida e aprovada em 24/11/2017.

Composição da Banca Examinadora:

Presidente Banca / Orientador	Doutor(a)	Ricardo Rodrigues de França Bente	
Instituição:		UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Interno	Doutor(a)	Maurício Godoy	
Instituição:		UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	
Examinador Externo	Doutor(a)	Cristiano Rocha da Cunha	
Instituição:		IFMT - Campus Cuiabá - Cel. Ocyde Jorge da Silva	
Examinador Externo	Doutor(a)	Cláudia Landim Nogueiras	
Instituição:		UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO/UNEMAT	
Examinador Suplente	Doutor(a)	Jorge Luiz Brito de Faria	
Instituição:		UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	

CUIABÁ, 24/11/2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu pai Jonas de
Araújo Carvalho (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

A Deus, a minha mãe e a minha esposa.

À Sociedade Brasileira de Física SBF pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. Ricardo Rodrigues de França Bento pela orientação.

Ao IFMT, que me concedeu licença parcial para aprimoramento profissional.

A todos os professores do Instituto de Física que contribuíram de forma direta e indireta na aquisição e construção de novos conhecimentos.

À todos os familiares que me apoiaram e acreditaram em meu potencial.

RESUMO

Este trabalho propõe o uso de uma unidade de ensino na forma de material didático alternativo sobre Introdução à Teoria Quântica para turmas do 3º ano do ensino médio, de acordo com os fundamentos teóricos das teorias de Piaget, Vigostky e da aprendizagem significativa de David Ausubel. O experimento didático foi aplicado em uma turma de terceiro ano do ensino médio, com 32 alunos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT. Com a utilização de vídeos, mapas conceituais, questionários e fundamentalmente o produto educacional, buscamos por meio de atividades dinâmicas e aulas expositivas com a participação dos alunos, discutir os primeiros conceitos ligados à Teoria Quântica. Os questionamentos ocorreram de forma continuada, através de perguntas diretas contendo conceitos relevantes para o entendimento da teoria quântica, contendo perguntas conceituais e matemáticas. Os resultados foram analisados através de diversas avaliações realizadas. O resultado positivo alcançado pode ser verificado principalmente nas respostas dadas aos questionamentos feitos na etapa de avaliação V deste trabalho após a apresentação do produto educacional.

Palavras-chave: Ensino, Física, Teorias de aprendizagem, Teoria Quântica, Material Didático

ABSTRACT

This work proposes the use of a teaching unit in the form of alternative didactic material on Introduction to Quantum Theory for classes of high school, according with the theoretical foundations of the theories of Piaget, Vigostky and the significant learning of David Ausubel. The didactic experiment was applied to a third year high school class, with 32 students, from the *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT*. With the use of videos, conceptual maps, questions and fundamentally the educational product, we seek to discuss the first concepts related to Quantum Theory through dynamic activities and expository classes with the participation of the students. The questions occurred continuously, through direct questions containing concepts relevant to the understanding of quantum theory, containing conceptual and mathematical questions. The results were analyzed through several evaluations. The positive result achieved can be verified mainly in the answers given to the questions made in the evaluation stage V of this work after the presentation of the educational product.

Keywords: Teaching, Physics, Theory of Learning, Quantum Theory, Didactic Material

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Feixe de elétrons sobre duas fendas	21
Figura 3.2: Dispositivo onde ocorre o efeito fotoelétrico	22
Figura 3.3: Corrente versus Potencial Elétrico	23
Figura 3.4: Energia Cinética máxima dos fotoelétrons	25
Figura 3.5: Esquema do Efeito Compton	27
Figura 3.6: Fóton retornando em sentido contrário ao fóton incidente	29
Figura 3.7: Fóton no mesmo sentido do fóton incidente	29
Figura 3.8: Tubo Coolidge de Raios X	30
Figura 3.9: Espectro Contínuo de Raios X	31
Figura 3.10: Transições de Raios X	33
Figura 3.11: Espalhamento de raios X por um cristal	34
Figura 5.1: Alunos assistindo ao vídeo “Mecânica Quântica: Uma viagem ao centro da Matéria”	53
Figura 5.2: Participação dos alunos na etapa de aplicação do vídeo	53
Figura 5.3: Participação dos alunos na questão a) Sobre se “o vídeo deixou claro o que estuda a Mecânica Quântica?”	54
Figura 5.4: Experiência mental de <i>Schrödinger</i>	55
Figura 5.5: Estudantes durante a etapa de aplicação I	56
Figura 5.6: Mapa Conceitual apresentado pelo estudante 3A11	63
Figura 5.7: Mapa Conceitual apresentado pelo estudante 3A12	63
Figura 5.8: Mapa Conceitual apresentado pelo estudante 3A22	64
Figura 5.9: Alunos construindo mapas conceituais	65
Figura 5.10: Alunos respondendo o questionário durante a intervenção pedagógica	67
Figura 5.11: Alunos durante a resolução do questionário de aplicação do produto	68
Figura 5.12: Alunos e o professor durante uma aula de aplicação do produto	68
Figura 5.13: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A7	70
Figura 5.14: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A11	71
Figura 5.15: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A22	72
Figura 5.16: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A23	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Etapas de aplicação do projeto	38
Tabela 4.2: Questionário de conhecimentos prévios	43
Tabela 4.3: Questionário de reconciliação integradora	45
Tabela 4.4: Leitura do artigo sobre mapas conceituais: atividades desenvolvidas, tempo previsto e objetivos	46
Tabela 4.5: Etapas de aplicação 4: Intervenção Pedagógica	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A2	59
Quadro 5.2: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A8	60
Quadro 5.3: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A22	60
Quadro 5.4: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A30	61

LISTA DE SIGLAS

EM - Ensino médio

EF - Ensino fundamental

FQ - Física Quântica

FC - Física Clássica

FIC - Formação Inicial e Continuada

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

MQ - Mecânica Quântica

NDA - Nível de Desenvolvimento Atual

NDP - Nível de Desenvolvimento Potencial

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais

UAB - Universidade Aberta do Brasil

Uned - Unidades de ensino descentralizadas

ZDP - Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE SIGLAS	vi
INTRODUÇÃO	1
1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	3
1.1 CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO	3
1.2 MOTIVAÇÃO	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 INTRODUÇÃO	7
2.2 OS PROCESSOS DE ENSINO E DE APRENDIZAGEM : APRENDIZAGEM ATIVA DO ALUNO	8
2.3 TEORIAS DE PIAGET E VIGOTSKY	10
2.4 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	13
3 O PRODUTO EDUCACIONAL	17
3.1 INTRODUÇÃO	17
3.2 UMA UNIDADE APROXIMADAMENTE CONCEITUAL SOBRE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO	19
3.2.1 ELÉTRONS E QUANTA	20
3.2.2 O EFEITO FOTOELÉTRICO	21
3.2.3 O EFEITO COMPTON	26
3.2.4 RAIOS X	30
3.2.5 DIFRAÇÃO DE RAIOS X	33
3.2.6 PARTÍCULAS E ONDAS	34
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DIDÁTICOS	36
4.1 O IFMT E OS ESTUDANTES AVALIADOS	36

4.2 ETAPAS DA PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO	38
4.2.1 ORGANIZADOR PRÉVIO - VÍDEO AULA	38
4.2.2 OBSERVAÇÃO DE IMAGENS CONTIDAS NO VÍDEO	44
4.2.3 AVALIAÇÃO DO ARTIGO E CONSTRUÇÃO DE MAPAS CONCEITUAIS	46
4.2.4 INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA	47
4.2.5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	49
4.2.6 AVALIAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1 ANÁLISE DO ORGANIZADOR PRÉVIO - VÍDEO AULA	52
5.2 ANÁLISE DAS IMAGENS	58
5.3 ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO DOS MAPAS CONCEITUAIS	62
5.4 ANÁLISE DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA	65
5.5 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	67
5.6 AVALIAÇÃO DA UNIDADE DE ENSINO APROXIMADAMENTE CONCEITUAL - MATERIAL DIDÁTICO ALTERNATIVO	74
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	76
REFERÊNCIAS	79

INTRODUÇÃO

A maioria dos professores de Física se prende aos conteúdos de Física Clássica (FC) nas escolas de nível médio. Aprofundam assuntos como Cinemática, Dinâmica, Estática, Hidrostática, Termodinâmica, Óptica, Ondas, Eletricidade e Magnetismo em detrimento da discussão de assuntos da Física Moderna (FM). Entretanto, os avanços tecnológicos estão fundamentados em conceitos da FM, por exemplo, a evolução da computação quântica, transmissão e processamento de dados e todos os tipos de sensores utilizados atualmente. Isso torna certamente este assunto motivador e de interesse para os alunos no ensino médio (EM), além de ser importante para a formação dos mesmos.

Por isso, é relevante que se discuta com alunos do EM os tópicos mais importantes da FM, entre eles a Física Quântica (FQ). Muitas vezes a FQ não é abordada porque os professores não têm conhecimento suficiente, sentem-se inseguros para desenvolver o assunto devido à falta de materiais disponíveis. Assim sendo, o tema de pesquisa “Uma Proposta de Unidade de Ensino sobre a Antiga Teoria Quântica como Instrumento Pedagógico Alternativo” tem como objetivo geral fornecer uma base teórica aos professores e alunos sobre alguns conceitos da FQ, além de uma proposta metodológica para trabalhar o tema no EM. Na elaboração da dissertação de mestrado, procurou-se contextualizar o assunto, despertando o interesse dos professores e alunos do IFMT para tratar o assunto no EM. O lócus da investigação ocorreu no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Avenida Juliano Costa Marques, s/n - CEP: 78.050-560, Telefone: (65) 3318-5100, Cuiabá-MT.

O Campus Cuiabá - Bela Vista, um dos *Campus* do IFMT, foi inaugurado em 13 de Setembro de 2006 e teve o seu funcionamento autorizado pela Portaria Ministerial nº. 1.586, de 15 de setembro de 2006. Nesse período funcionava como uma extensão do Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso (CEFET-MT), que passou a ser denominado *Campus* com a lei de criação dos institutos, Lei nº 11,892, de 29 de setembro de 2008. Vinculado ao Ministério

da Educação, possui natureza jurídica de autarquia, sendo detentor de autonomia administrativa, patrimonial, financeira, didático-pedagógica e disciplinar. O Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso é uma instituição de educação superior, básica e profissional, pluricurricular e multicampi, especializada na oferta de educação profissional e tecnológica nas diferentes modalidades de ensino, com base na conjugação de conhecimentos técnicos e tecnológicos com sua prática pedagógica (IFMT: APRESENTAÇÃO E HISTÓRICO, 2016).

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. O capítulo 1, “Contexto e Motivação”, cuja finalidade é apresentar o contexto do estudo, a motivação e o objetivo geral. No capítulo 2, “Referencial teórico”, são discutidas as perspectivas de Piaget e Vigostky e a aprendizagem significativa de David Ausubel. No capítulo 3, “Produto educacional”, é apresentado o material didático de nossa proposta, elaborado pelo autor, como sugestão para discussão e aprendizado entre estudantes e professores. O capítulo 4, “Procedimentos Metodológicos e Didáticos”, descreve a metodologia de investigação usada, referindo-se a conteúdos como a abordagem metodológica da investigação e sua concepção. No capítulo 5, “Resultados e Discussões”, procurou-se discutir os resultados do estudo à luz do objetivo geral, do contexto teórico assim como da metodologia de investigação proposta. Em “Conclusões e perspectivas”, descrevem-se as limitações e implicações do estudo e propõem-se sugestões para trabalhos futuros ao nível do desenvolvimento do material didático.

CAPÍTULO 1 - CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

Este capítulo tem por finalidade contextualizar e justificar o trabalho realizado no desenvolvimento de um produto educacional na forma de um material didático de “Uma Proposta de Unidade de Ensino sobre a antiga Teoria Quântica como instrumento pedagógico alternativo” para auxiliar alunos e professores na aprendizagem e no ensino de conteúdos de Física Quântica (FQ) no Ensino Médio (EM). Neste capítulo é fornecida uma visão generalizada da investigação apresentando-se, primeiramente, o contexto em que ela se insere sob o ponto de vista educacional, seguida da motivação do estudo e objetivo geral.

1.1 Contexto da investigação

A Educação é prioritária, dada a sua relevante importância para o desenvolvimento de recursos humanos para o progresso e desenvolvimento sustentável do país. O orçamento atribuído ao setor de Educação, em Mato Grosso aumentou com uma proposta de orçamento de R\$ 2,668 bilhões para 2017, valor 9,80 % maior que 2016 (SEPLAN, 2017). Esta tendência de priorizar os orçamentos para a educação poderá ter um impacto significativo na aprendizagem dos alunos. Desta forma, um dos objetivos principais da Educação em Mato Grosso é melhorar a aprendizagem dos alunos em todos os níveis de ensino, embora isto não tenha ocorrido nos últimos anos. Entretanto, alcançar este objetivo implica investimentos na melhoria da formação de professores, na elaboração de políticas públicas para uma avaliação contínua da aprendizagem do aluno e em incentivos que levem motivação aos professores para um melhor desempenho em sala de aula.

Nessa perspectiva, o ensino de Física nas escolas de nível médio deve ser coerente com a vontade de se proporcionar uma educação mais comprometida e compatível com a sociedade. No EM, a disciplina de Física aborda conteúdos relacionados aos fenômenos mecânicos, térmicos, luminosos,

elétricos e eletromagnéticos. A aprendizagem desses conteúdos nesse nível tem por finalidade ampliar e aprofundar os conhecimentos adquiridos no 9º ano do ensino fundamental para que o aluno possa compreender a evolução tecnológica relacionada à evolução do conhecimento científico. Nesta dinâmica, deve-se levar em conta a heterogeneidade dos alunos, os ritmos com que aprendem e a diminuição das dificuldades.

No 3º ano, de acordo com a matriz curricular do ensino médio, o aluno termina (pelo menos deveria terminar) a aprendizagem de Física com o estudo das ondas eletromagnéticas que servem de base para o primeiro contato com a FQ, em especial a radiação do corpo negro, que se completa com a Física atômica (efeito fotoelétrico, níveis de energia no átomo de hidrogênio e Raios-X) e a Física nuclear (desintegração radioativa, reações de fusão e fissão nuclear).

Os conteúdos relacionados à FQ são de fundamental importância, devido à presença desses tipos de fenômenos no cotidiano. Por exemplo, nos computadores, celulares, leitores de CD, Raios-X, nas aplicações da energia nuclear na medicina, na indústria e na agricultura. Assim, em reconhecimento a esta importância, pesquisadores defendem a sua introdução nas matrizes curriculares de nível médio ainda mais cedo, para que os alunos possam conhecer os fundamentos que governam o desenvolvimento tecnológico atual.

Moreira (2005) salienta que uma abordagem transparente de tais conteúdos pode proporcionar a superação de certas barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza. Ainda Moreira (2005) concorda que os conteúdos de FQ devem ser introduzidos no início do ensino médio e que existem muitas publicações sobre este assunto para professores. Apesar de existir concordância para a inclusão de assuntos de FQ no ensino médio, várias são as dificuldades que deverão ser ultrapassadas, quais sejam: i) Relativas ao campo conceitual que contrárias à Física Clássica (FC) são abstratas e distantes do senso comum; ii) Formalismo matemático distante da realidade do ensino médio; iii) Parte experimental difícil de se colocar em prática em virtude da complexidade e altos valores dos equipamentos.

No Estado de Mato Grosso e no Brasil, um estudante do ensino médio, na melhor das hipóteses, tem conteúdos relacionados à FQ no último bimestre do 3º ano. Portanto, devido às dificuldades para se abordar estes conteúdos, em relação aos programas exigidos no ensino médio, necessita-se de uma avaliação continuada e formativa de professores, levando-se em consideração aspectos qualitativos e fenomenológicos em detrimento dos aspectos quantitativos.

Portanto, é neste contexto que surge este trabalho como contribuição no desenvolvimento de materiais didáticos para o ensino médio, tendo como prioridade a abordagem de conteúdos sobre FQ no contexto do programa de Física do 3º ano do ensino médio.

1.2 Motivação

Um dos grandes problemas que o Brasil enfrenta está relacionado à qualidade de ensino, que se reflete no elevado número de evasões e reprovações. Na rede pública de ensino, principalmente, este fato pode estar relacionado com a não utilização dos recursos de aprendizagem disponíveis, bem como à falta de investimento na formação de professores. Um ensino de qualidade está relacionado à redução das evasões e repetências e ao aumento da eficiência na utilização dos recursos educacionais.

Neste sentido, este trabalho procura minimizar este problema, desenvolvendo um material didático sobre FQ para ser adotado no ensino médio, uma vez que os estudantes já estão bastante familiarizados com a tecnologia resultante do arcabouço teórico da FQ. E como motivação final para este estudo, o investigador, na sua experiência como professor do ensino médio, constatou que os alunos enfrentam dificuldades na aprendizagem de conteúdos sobre FQ, o mesmo acontecendo com os professores.

O problema desta dissertação foi delimitado e definido a partir da seguinte questão:

“Quais as potencialidades pedagógicas de se desenvolver um material didático conceitual no ensino médio, como ferramenta de apoio ao ensino (professor) e

aprendizagem (aluno) de FQ?” Para concretizar este questionamento, foi definido o seguinte objetivo geral: a) Propor um material didático de FQ para melhoria da qualidade de ensino de Física em turmas de 3º ano do ensino médio. E os seguintes objetivos específicos: a) Compreender alguns dos principais conceitos e ferramentas da Física Quântica; b) Identificar a aplicabilidade da Física Quântica na vida moderna e cotidiana dos alunos; c) Apresentar as principais discontinuidades entre a Física Clássica e a Física Quântica; d) Entender minimamente o formalismo matemático para tratar a Física Quântica.

O contexto do estudo junto ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) relaciona-se à atuação do professor (pesquisador) na disciplina de Física do Ensino Básico e Tecnológico, em que o mesmo terá uma formação intelectual de técnicas na área de Ensino de Física com habilitação a um exercício mais qualificado de suas atribuições como docente, e também maior domínio de conteúdos avançados de Física Quântica.

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução

O ensino da Física no final do ensino fundamental (EF) e em todo EM não é tarefa fácil para muitos alunos que precisam lidar com diversos conceitos abstratos e processos demasiadamente complexos.

Para Moran (2004), educar com excelência é organizar as atividades didáticas em: (i) nova sala de aula, (ii) laboratórios conectados, (iii) ambientes virtuais de aprendizagem, e (iv) ambientes experimentais e profissionais. Esta forma de educar foi projetada para o ambiente acadêmico, mas pode se aplicar às escolas de nível médio, desde que os espaços sejam modificados de forma inovadora. Nestes espaços, os professores podem auxiliar os alunos a enxergarem a Física como conceitos e princípios consistentes com o mundo físico, promovendo desta forma a aquisição de conhecimentos significativos.

Para obter este efeito é de fundamental importância a consciência de que a aprendizagem é um processo: i) (re) construtivo, onde os alunos ajudam na construção de novos conhecimentos a partir de experiências já adquiridas sobre os fenômenos físicos, estando cognitivamente e afetivamente envolvidos com a nova informação, (ii) cumulativo, a partir das aprendizagens anteriores, (iii) autorregulados, apoiar os alunos para o desenvolvimento de estratégias de aprendizagem, tais como o hábito de estudar e a autocrítica para correção do próprio trabalho e, (iv) colaborativo, como forma de aprendizagem a partir de um processo social. Como podemos observar, espera-se que os alunos sejam produtores ativos do conhecimento, sendo necessário criar ferramentas de ensino que ofereçam oportunidades de uma aprendizagem ativa.

Nas próximas seções, apresentamos os processos de ensino e de aprendizagem ativa do aluno, as teorias de Piaget e Vigostky e a aprendizagem significativa de David Ausubel, que fazem parte do referencial teórico da Unidade Conceitual desenvolvida neste trabalho. E não menos importante,

estão os documentos oficiais, quais sejam: os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio - PCNEM (Parâmetros, 1997), as Orientações Curriculares de Estado de Mato Grosso (Orientações, 2014), as Diretrizes Nacionais para a Educação Básica (Diretrizes, 2013) e a Matriz Curricular do IFMT (Matriz, 2016) nos quais podemos constatar, após análise, a ausência do ensino de Física Quântica no nível médio. Embora estes documentos justifiquem ainda mais a pesquisa, não serão discutidos neste trabalho.

2.2 Os processos de ensino e de aprendizagem: Aprendizagem ativa do aluno

Há diversas formas de abordagens para conceituar aprendizagem ativa com características comuns associadas à relação professor/aluno nos processos de ensino e de aprendizagem. Os alunos têm grande parcela de responsabilidade nas suas próprias aprendizagens e o professor restringe-se à orientá-las, direcionando as interações dos alunos, sendo que a aprendizagem é classificada como ativa a partir das seguintes características comportamentais dos alunos: i) Tem iniciativa nas atividades e responsabiliza-se pela própria aprendizagem; ii) Resolve os problemas e toma decisões; iii) Transferência de habilidades e aprendizagens de um contexto para outro; iv) Organização com ele mesmo e com outros colegas; v) Demonstra competência e entendimento de formas diferentes; vi) Envolve-se na própria avaliação e na dos colegas; vii) Sente-se bem como aprendiz.

Para Mendonça (2015), a aprendizagem ativa é um modelo de ensino onde os alunos são envolvidos num processo de aprendizagem reflexiva, em que é enfatizado o papel desenvolvido pelo diálogo e interação social para reforçar o pensamento crítico e a criação de novas ideias. A aprendizagem ativa integra o conhecimento produzido dentro e fora da sala de aula, partilhando a compreensão e os pontos de vista divergentes, com o objetivo de construir um conhecimento coletivo.

A aprendizagem ativa está relacionada a vários modelos de ensino pautados no esforço dos alunos no processo de aprendizagem em sala de aula e

extra-classe, sendo os alunos parceiros no processos de ensino e de aprendizagem, responsáveis dessa forma por sua própria aprendizagem com benefícios para ele próprio e para o professor. O envolvimento do aluno nos processos de ensino e de aprendizagem é fundamental para o sucesso da aprendizagem ativa. Para isso, os alunos participam de atividades de alto nível cognitivo, como análise, síntese e avaliação, sendo estimulada a solução de problemas e a análise crítica, o que reivindica o uso apropriado dos ambientes de aprendizagem através da prática de estratégias adequadas.

Existem algumas estratégias para promoção da aprendizagem ativa que são: i) Aumento da retenção e compreensão dos conteúdos a partir de interrupções feitas pelo professor durante a aula; ii) Muitos e pequenos testes e exames; iii) Demonstrações; iv) Formas alternativas para as aulas; v) Espaço nas aulas para formulação de perguntas por parte dos alunos; vi) Resolução de problemas; vii) Debates; viii) Aprendizagem cooperativa.

Portanto, deve-se combinar estratégias de ensino para as aulas presenciais e não-presenciais que priorizem meios não-tradicionais de ensino, o que possibilitará uma aprendizagem ativa no ensino de Física.

O questionamento na interação professor- aluno, bem como na interação aluno-aluno, é uma estratégia favorável para a construção de conhecimento, uma vez que questionar é o ato de reflexão para fazer perguntas o que resulta em uma aprendizagem ativa. Ao perguntar, o aluno está na busca de possíveis respostas para suas dúvidas, o que indica uma elaboração cognitiva mais elevada. Esta competência exige empenho dos alunos e suas perguntas desempenham um papel fundamental na identificação dos problemas de aprendizagem. A partir das perguntas feitas pelos alunos, o professor pode identificar dificuldades na compreensão de conceitos e conhecer os seus interesses, sabendo desta forma o que eles pretendem saber sobre determinado assunto.

Torna-se urgente e necessária uma adaptação da prática pedagógica do professor no sentido de fornecer uma resposta mais satisfatória às necessidades

e aos interesses dos alunos. Para os alunos, as perguntas vão ajudar a compreender e monitorar os seus conhecimentos.

Na próxima seção serão discutidas as teorias de Piaget e Vigotsky que constituem as bases teóricas para a compreensão do processo de aquisição do conhecimento pelo indivíduo.

2.3 Teorias de Piaget e Vigotsky

De acordo com a Teoria de Piaget, existem dois processos usados pelo indivíduo para adquirir conhecimento: a assimilação e a acomodação (Ginsburg, 1988; Huitt & Hummel, 2003; Palangana, 2001), sendo que a assimilação representa o processo de adaptação dos estímulos externos às estruturas mentais internas (Pereira et al., 2007), e a acomodação representa o processo complementar de adaptação das estruturas mentais à estrutura desses mesmos estímulos (Pereira et al., 2007) ou seja, representa o movimento no sentido de submeter-se às exigências externas, adequando-se ao meio (Ginsburg, 1988; Huitt & Hummel, 2003). Esses processos ocorrem simultaneamente e são inseparáveis, e a repetida assimilação e acomodação a um dado meio é responsável pela evolução do sistema cognitivo, tornando possíveis novas e diferentes assimilações e acomodações (Pereira et al., 2007). Portanto, em um processo de aprendizagem o indivíduo interage de forma contínua com objetos do meio, não podendo haver acomodação sem assimilação, uma vez que somente verifica-se a acomodação de alguma coisa que tenha anteriormente sido assimilado (Ginsburg, 1988; Seber, 1997).

Piaget (1964) e Seber (1997) argumentam que deve-se ter compatibilidade entre o que se pretende ensinar e o nível de desenvolvimento intelectual do indivíduo. A teoria defende o desenvolvimento do intelecto antes mesmo da ocorrência do processo de ensino. Portanto, a implicação pedagógica dela é que a aprendizagem deve ser adiada, se o aluno não tiver atingido um determinado nível de desenvolvimento intelectual suficiente para esta aprendizagem (Huitt

& Hummel, 2003). Já a teoria de Vigotsky propõe dois níveis de desenvolvimento do intelecto: o Nível de Desenvolvimento Atual (NDA) e o Nível de Desenvolvimento Potencial (NDP) (Coelho, Pisoni, 2012).

De acordo com Vygotsky para que a aprendizagem seja possível, não é necessário esperar a formação de determinadas estruturas mentais, uma vez que o ensino é que desencadeia a formação de tais estruturas necessárias à aprendizagem, desde que seja respeitada a capacidade cognitiva do aluno (Tudge, 1990). A teoria de Vygotsky defende que existe na mente dos alunos uma Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), representando a diferença entre o que o aluno consegue fazer individualmente (NDA) e o que é capaz de conseguir com o auxílio do professor ou de seus colegas (NDP), com mais facilidade com a disciplina (Gallimore & Tharp, 1996; Pereira et al., 2007).

DeVries (2000), baseando-se em Vygotsky, define também a ZDP como a distância entre o nível de desenvolvimento atual, determinado pela resolução de problemas independentes, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da resolução de problemas sob a orientação do professor ou em colaboração com os colegas. Para Vygotsky, o desenvolvimento dos processos cognitivos superiores resulta de uma atividade mediada, o que significa ajudar os alunos na resolução de problemas que estejam fora do seu alcance, sendo que a ação docente deve ser realizada na ZDP, desenvolvendo estratégias para que os alunos gradualmente possam resolvê-los de forma independente (Clermont & Bell, 1988; Lourenço, 2012). Portanto, Vygotsky defende que, quando o aluno é confrontado com tarefas de desafio cognitivo não distante da ZDP, ele aprende muito melhor.

Dessa forma, o professor deve possibilitar aos alunos a oportunidade de enriquecimento de suas competências e conhecimento, a partir do que já conhecem, interagindo com os colegas em processos de aprendizagem cooperativa. O professor deverá conhecer a ZDP e maximizar a aprendizagem do aluno para que o mesmo se desenvolva constantemente, fazendo a interação entre os conhecimentos já adquiridos e os novos conhecimentos (Barra, 2014; Barros, 2013).

Para que a ZDP não seja mal estimada, além das reais potencialidades do aluno, a intervenção metodológica na ZDP deverá levar em conta os seguintes procedimentos didáticos: (i) Avaliação do NDA (avaliação diagnóstica), em que o professor deve agir na ZDP após avaliação das capacidades reais dos alunos, identificando os erros mais comuns; (ii) O trabalho com o Nível de Desenvolvimento Potencial (NDP), em que a partir das capacidades reais dos alunos, dos objetivos de ensino e do contexto escolar, o professor levanta hipóteses em relação ao NDP dos alunos); (iii) Avaliação do novo NDA através da avaliação formativa (Barros, 2013).

As duas teorias complementam-se, embora sejam complexas em suas concepções de desenvolvimento intelectual, mostram como o sujeito se envolve no processo de construção do conhecimento, sendo ambas as teorias consideradas construtivistas. Sustentam, ainda, que o desenvolvimento intelectual efetua-se a partir das relações entre o sujeito e o meio (Clermont & Bell, 1988; Seber, 1997; Tudge, 1990).

Portanto, a visão construtivista, para Vygotsky e Piaget, é governada pela ideia de que a única aprendizagem significativa é a que ocorre através da interação entre o sujeito, o objeto e outros sujeitos, colegas e professores nesta situação (Marques, 2007). O “construtivismo” surge na Psicologia com a obra de Piaget, no contexto de sua epistemologia genética, para indicar o papel ativo do aprendiz na construção de suas estruturas cognitivas (Castañon, 2005). Para Taber (2011), o construtivismo tem merecido muitas abordagens teóricas em Psicologia, Filosofia, Sociologia e Antropologia.

Embora as abordagens assumam posições epistemológicas diferentes entre si, uma questão importante e comum que os investigadores colocam em diversos domínios da ciência relacionada com a perspectiva construtivista é: como envolver os alunos na construção do conhecimento? Assim, Cossa e Cossa (2014) organizam a perspectiva construtivista na educação considerando que ela:

baseia-se no fato de que as pessoas constroem a sua própria compreensão e conhecimento sobre o mundo. Os conhecimentos de um indivíduo são o resultado das suas próprias experiências e vivências em diferentes contextos, alteração das estruturas mentais que gera uma mudança no seu comportamento e crenças que irão permitir a interpretação dessa realidade (Cossa e Cossa, 2014)

Acrescentam que, nesta perspectiva, a aprendizagem é uma interpretação pessoal da realidade e um processo ativo no qual o significado é desenvolvido na base da experiência; e que o ingrediente mais importante no processo de aprendizagem é a interação entre o novo conhecimento e o conhecimento existente.

2.4 Aprendizagem significativa

A atual teoria da aprendizagem significativa tem origem no trabalho do americano David Ausubel, e lança as bases para a compreensão de como o ser humano constrói significados e aponta caminhos para a elaboração de estratégias de ensino que promovam a aprendizagem significativa.

O foco da Teoria está na aprendizagem cognitiva e procura explicar os mecanismos internos que ocorrem na mente humana com relação à aprendizagem e à estruturação do conhecimento (Cachapuz, 2013; Novak, 2002). Caracteriza-se por valorizar a interação cognitiva entre o novo conhecimento a ser adquirido e o conhecimento prévio dos alunos (Ausubel, 2000). Neste processo, a nova informação interage em comum à estrutura de conhecimento específico, que Ausubel chama de conceito subsunçor ou ideia-âncora e a aprendizagem é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado nas estruturas de conhecimento dos alunos. O novo conhecimento adquire, gradualmente, significados para o aluno e o conhecimento prévio fica mais rico e mais estável em termos de significados (Ausubel, 2000; Moreira, 2005).

A aprendizagem mecânica é o extremo oposto da aprendizagem significativa, conforme a Teoria de Ausubel (2000). Nesse caso, aprendem-se novos conteúdos sem uma interação de forma lógica e clara com os conceitos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Nesta forma de aprendizagem, as novas informações são armazenadas arbitrariamente e o aluno limita-se a decorar fórmulas, leis e teorias (Ausubel, 2000; Pelizzari, Kriegl, Baron, Finck & Dorocinski, 2002). Constata-se dessa forma que o conhecimento prévio é a variável que mais influencia para que a aprendizagem seja significativa. Isto significa que, para promover uma aprendizagem significativa é preciso verificar esse conhecimento prévio e conduzir a aprendizagem em função desse mesmo conhecimento.

De acordo com Ausubel (2000), para que a aprendizagem significativa ocorra em relação a um determinado conteúdo, devem-se levar em conta três condições favorecedoras: (i) o material didático com conteúdo estruturado de maneira lógica e ao mesmo tempo com significado psicológico para o aluno que aprende. Cada aluno faz uma filtragem dos materiais que têm significado psicológico ou não para si mesmo. Então, quando se dá a aprendizagem significativa, o aluno transforma o significado lógico do material pedagógico em significado psicológico (depende da estrutura cognitiva de cada aluno), à medida que esse conteúdo se insere na sua estrutura cognitiva; (ii) a existência na estrutura cognitiva do aluno de conhecimentos organizados que possibilitem a sua conexão com o novo conhecimento; (iii) a vontade e disposição psicológica do aluno em relacionar o novo conhecimento com aquele já existente na sua estrutura cognitiva (Ausubel, 2000; Tavares, 2004; Tavares, 2010; Valadares & Fonseca, 2004).

Valadares (2011) parte do princípio que a aprendizagem significativa é um processo construtivo que leva em conta o que está incorporado na estrutura cognitiva prévia de quem aprende, considera a teoria da aprendizagem significativa como uma teoria construtivista. Diz ainda que "[] trata-se de uma teoria cognitivo-humanista em que o ser humano atua recorrendo a pensamentos,

sentimentos e ações para dar significado às experiências que vai vivendo". (Valadares, 2011, p.135)

Deve-se ajudar os alunos a aprender significativamente na medida em que a aprendizagem significativa segue um caminho que não é linear e está relacionada à possibilidade dos alunos aprenderem por múltiplos caminhos e formas de inteligência, permitindo-lhes o uso de diversos meios e modos de expressão (Valadares & Fonseca, 2004). Para esses autores: "[] ensinar e aprender com significado implica interação, disputa, aceitação, rejeição, caminhos diversos, percepção das diferenças, busca constante de todos os envolvidos na ação de conhecer" (Valadares & Fonseca, 2004, p.6)

E nesse processo, a avaliação para as aprendizagens é de bastante importância para aferir em que medida os significados dos alunos são os que se pretendem que eles assimilem; os alunos também devem tentar verificar se os significados adquiridos são os que pretendiam que eles captassem e se correspondem, de fato, às concepções científicas.

Para que os alunos tenham interesse em aprender é necessário implementar estratégias que favoreçam atitudes de aprendizagem significativa, e que a partir dos assuntos de maior interesse, favoreçam o trabalho em equipe e sua participação ativa.

Uma das estratégias favoráveis para promover uma aprendizagem significativa é a utilização das ferramentas computacionais para avaliar o conhecimento dos alunos nos conceitos associados com os objetivos de aprendizagem. Nos processos de ensino e de aprendizagem, a avaliação é muito enfatizada e exerce uma grande influência em todo o contexto escolar (Magalhães & Carpinteiro, 2004). É necessário um caminho moderno para o ensino e a aprendizagem das ciências, por exemplo, a disciplina de Física, vista como difícil e abstrata por muitos alunos; isto deve-se à forma como ela é ensinada (Aina, 2013).

De acordo com Coca (2013), a aprendizagem cooperativa nos processos de ensino e de aprendizagem de ciências pode ser interpretada considerando cinco características: i) Interdependência positiva - o aluno não sente-se realizado

enquanto os demais colegas do grupo não tiverem sucessos na aprendizagem e vice-versa; ii) interação positiva - os alunos explicam os conceitos aos colegas, bem como a maneira de resolver exercícios; iii) responsabilidade pessoal - o professor deve avaliar os esforços pessoais de cada aluno; iv) habilidades de cooperação para o funcionamento eficaz do grupo - capacidade de liderança, a tomada de decisões e confiança; e v) Auto-análise do grupo - discussão dentro do grupo para saber se os objetivos foram alcançados.

Neste capítulo foi apresentado o referencial teórico utilizado na dissertação através das teorias de Piaget, Vigostky e David Ausubel. No capítulo 3 apresentamos o produto educacional.

CAPÍTULO 3 - O PRODUTO EDUCACIONAL

3.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado o Produto Educacional como uma unidade aproximadamente conceitual, uma vez que será encontrado um mínimo de formalismo matemático na discussão conceitual, aos estudantes e professores de nível médio como uma contribuição ao entendimento de alguns conceitos fundamentais para um curso de introdução à Física Quântica. Particularmente, existe um conceito mais ou menos generalizado de que a aprendizagem de Física Quântica é mais complicada do que outras partes da Física, o que, pode-se dizer, existe muito de verdadeiro. As dificuldades de fato existem e são oriundas, basicamente: i) do formalismo matemático (matemática envolvida na teoria quântica); ii) da interpretação dos resultados matemáticos e das previsões da teoria que muitas vezes estão fora do que pode-se chamar de resultados esperados.

Quando se ouvimos falar em dificuldade na aprendizagem de Física, indiretamente admitimos a existência de mais complicações no seu processo de ensino e de aprendizagem do que em outras disciplinas. Entretanto, todos os tipos de aprendizagem impõem dificuldades, que devem ser superadas por estratégias específicas.

A Teoria Quântica, se fosse possível defini-la, é uma nova linguagem para a descrição do mundo. Nesse sentido, reside a sua dificuldade, qual seja: como é uma linguagem nova, é necessário aprendê-la e precisamos evitar cair nas armadilhas que toda nova linguagem nos impõe, a estratégia para superar as dificuldades é o estudo e o treinamento. Como outras linguagens, o indivíduo pode tornar-se um bom conhecedor e manuseador da linguagem, ou pode passar a vida inteira arranhando. Depende somente de nossa boa vontade (P.T.C. Freire, 1996).

Citando as palavras do físico dinamarquês Niels Bohr (7 de outubro de 1885 - 18 de novembro de 1962), cujos trabalhos contribuíram decisivamente

para a compreensão da Teoria Quântica, temos: *“Creio que, se o desenvolvimento da Física Atômica nos ensinou alguma coisa, foi que devemos pensar em termos mais sutis do que no passado”*.

Um fato é que o mundo é mais complexo do que imaginavam as teorias mecanicistas do século XIX (ou a maneira que temos para descrever o mundo é mais complexa) e um segundo fato: a Teoria Quântica nos permite entender praticamente toda a Física criada após 1925. Estas são as razões para estudarmos a Mecânica Quântica. (P.T.C. Freire, 1996).

A Física Quântica é uma teoria que foi criada com o objetivo de se entender os fenômenos físicos ao nível atômico. Antes de começarmos a discutir um pouco da Teoria em si é interessante tecer alguns comentários sobre o significado de entender, em Física.

Inicialmente poder-se-ia pensar que o conhecimento do arcabouço matemático de uma teoria e as previsões do que poderia ser observado e medido, fosse tudo o que existiria em relação a compreensão de uma teoria. Isto significaria que toda a compreensão que um físico precisa advém de uma teoria que o permite prever corretamente os resultados de uma observação. Questionando este ponto de vista, Wolfgang Pauli, um dos construtores da teoria quântica, afirmava a necessidade de se certificar de que as previsões teóricas não eram ambíguas e, ao mesmo tempo, isentas de contradição. Além disto, deve ficar claro pela estrutura conceitual da teoria, a quais fenômenos particulares ela se aplica e a quais não se aplica. Mesmo assim a capacidade de prever fenômenos numa área particular não significa ter alcançado uma compreensão (P.T.C. Freire, 1996).

Talvez seja possível compreender um campo particular da experiência, sem ser capaz de prever todos os resultados das observações futuras. Continuando, Pauli (1954) afirmava que compreender a natureza significa examinar mais de perto suas conexões, ter certeza de seu funcionamento interno e, provavelmente, significa estar de posse de representações e conceitos necessários para reconhecer que uma multidão de fenômenos diferentes faz parte de um todo coerente (P.T.C. Freire, 1996).

Guiados por este instigante conceito de compreensão em Física, vamos estudar alguns conceitos de Física Quântica de tal forma que ao final desta unidade, conheçamos um pouco da teoria e possamos reconhecer que diferentes fenômenos da natureza, na verdade, estejam interligados e pertençam a um todo coerente.

Vamos trabalhar uma unidade aproximadamente conceitual sobre Física Quântica apenas com elétrons, quanta, luz, raios X, ondas e partículas. Não pensemos que seja pouco: Matéria e Campo. Estas duas coisas mais interação são os tijolos e o cimento do universo.

3.2 - Uma Unidade aproximadamente conceitual sobre Física Quântica no Ensino Médio

Até o final do século XIX a crença no meio científico era de que a Física estava apoiada em três sólidos pilares: Mecânica, Eletromagnetismo e Termodinâmica respectivamente representados por Newton, Maxwell e Carnot. Acreditava-se que quase nada restava a fazer na Física a não ser melhores medidas.

Entretanto no final do século XIX e começo do século XX, uma enorme quantidade de descobertas e experiências que não puderam ser explicadas pelos conceitos físicos então existentes deram origem ao nascimento de uma nova Física, a Física Moderna que, em contraste com a Física Clássica, veio trazer à luz as soluções e explicações para todos esses novos problemas. Hoje, passados 100 anos, a Física Moderna ainda justifica o seu nome não em um sentido cronológico mas no sentido da quebra provocada nos antigos conceitos. No que se refere à Teoria da Relatividade, por exemplo, é necessário que abandonemos ideias arraigadas fundamentadas em nosso confortável e intuitivo, mas nem sempre correto senso comum sobre os conceitos de espaço e tempo. Com relação às Teorias Quânticas, nossas ideias intuitivas sobre a continuidade da natureza deverão igualmente ser revistas.

3.2.1 Elétrons e Quanta

Na nossa vida cotidiana, não existe mistério nos conceitos de onda e partícula. São dois conceitos absolutamente distintos. Mas a nossa realidade física é o resultado do comportamento invisível das partículas que formam a matéria, e nesse mundo das partículas elementares não existem nem partículas nem ondas no sentido que o nosso senso conhece. A questão sobre o que é a luz é muito antiga. Newton acreditava que a luz era formada por corpúsculos (Griffiths,1995).

As experiências de Interferência e Difração, e mais tarde as conclusões advindas das equações de Maxwell, consolidaram o caráter ondulatório da luz e da radiação eletromagnética como um todo. Entretanto, experiências como o efeito fotoelétrico mostraram resultados que não puderam ser explicados com base na teoria ondulatória (Eisberg, 1979).

Para explicar o Efeito Fotoelétrico foi necessário supor que a luz fosse composta de corpúsculos como fez Einstein. E os elétrons? De Broglie postulou que associado aos elétrons, que eram vistos como corpúsculos de energia E e momento p , existia uma onda com frequência e comprimento de onda, dados por:

$$\nu = \frac{E}{h} \quad (3.1)$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (3.2)$$

onde ν é a frequência, E é a energia, λ é o comprimento de onda e p é o momento em unidades do Sistema Internacional (SI).

Façamos a seguinte experiência: joga-se um feixe de elétrons sobre duas fendas bastante próximas deixando que eles se choquem num anteparo atrás das fendas. Quando apenas a fenda F_1 está aberta, temos uma distribuição P_1 no anteparo, e quando a fenda F_2 está aberta, temos uma distribuição P_2 , bem

característica de corpúsculos. Entretanto, quando as duas fendas estão abertas, a distribuição será $P_{12} \neq P_1 + P_2$, conforme mostrado na Figura 3.1.

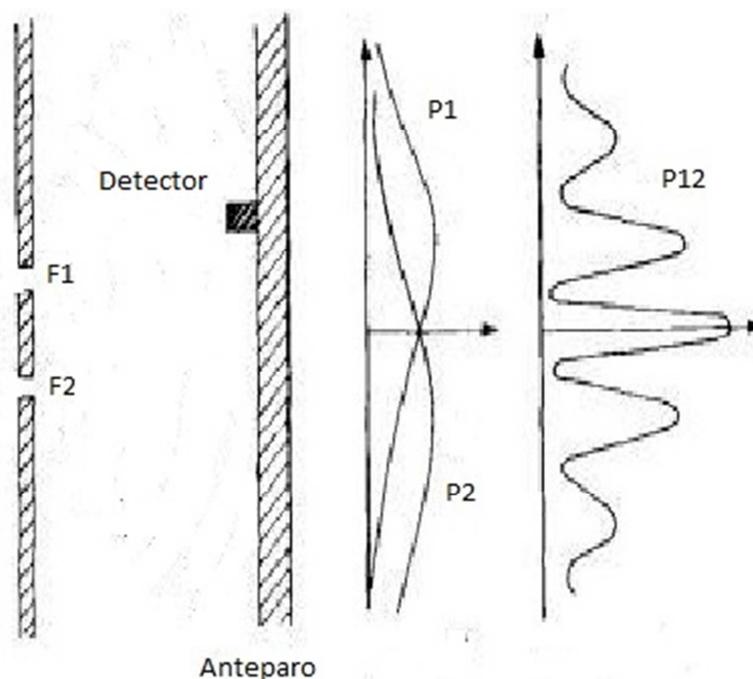


Figura 3.1. Feixe de elétrons sobre duas fendas. Fonte: (Eisberg, 1979).

Os elétrons agora comportam-se como se fossem ondas. Esta é uma situação que está intimamente relacionada ao conteúdo físico básico da teoria: o princípio da incerteza, termo utilizado para designar o estado de um elétron. O nome é adequado, uma vez que é impossível saber a posição exata que um elétron ocupa na eletrosfera de um átomo. O princípio foi criado por Werner Heisenberg em 1927 e transformou-se num enunciado da Mecânica Quântica (Feynman, 1987).

3.2.2 O Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é um exemplo do processo em que a radiação eletromagnética interage com a matéria. Consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica sob a ação da luz. Foi descoberto acidentalmente entre

1886 e 1887 por Hertz quando realizava experiências para confirmar a existência de ondas eletromagnéticas (Eisberg, 1979).

A emissão eletrônica pode acontecer também por outros mecanismos:

- (i) Efeito Edison ou emissão termiônica de elétrons pela superfície aquecida de um metal;
- (ii) Emissão de campo: extração de elétrons de uma superfície metálica por um campo elétrico intenso;
- (iii) Emissão secundária: partículas energéticas incidindo sobre alguns materiais, liberam elétrons de sua superfície.

Os resultados experimentais do efeito fotoelétrico que foram obtidos por Philipp Lenard (1905) são os seguintes:

- (i) A máxima energia cinética dos elétrons depende da frequência da luz incidente e não da intensidade;
- (ii) Pequena frequência \rightarrow K (energia cinética) pequena;
- (iii) Pequena intensidade, mas a mesma frequência sendo mantida \rightarrow poucos elétrons ejetados mas com a mesma energia cinética;
- (iv) Aumento da intensidade \rightarrow aumento na corrente.

Um esquema do dispositivo onde ocorre o efeito fotoelétrico é mostrado na

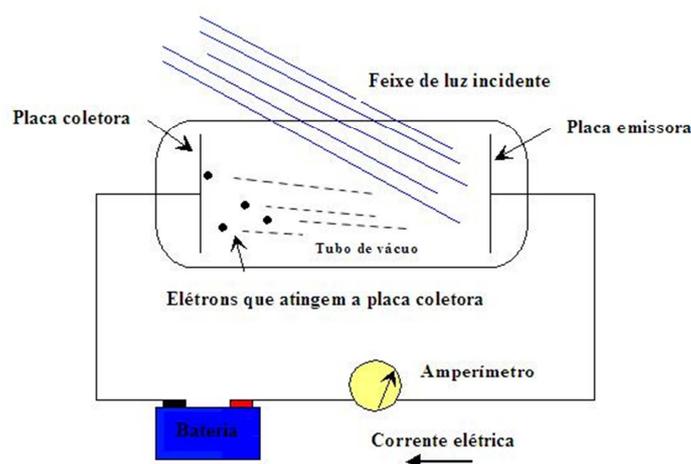


Figura 3.2: Dispositivo onde ocorre o efeito fotoelétrico: https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod03/m_s01.html, Acesso em: 27 nov 2016.

Quando o potencial é suficientemente grande, todos os elétrons emitidos alcançam o outro terminal e a corrente atinge o seu máximo valor e é chamada corrente de saturação (Eisberg, 1979). Quando o potencial é negativo, potencial de freiamento, os elétrons são repelidos. Portanto, apenas aqueles elétrons com a máxima energia cinética podem alcançar o outro pólo. Teremos então:

$$K_{máx} = eV_0 \quad (3.3)$$

onde V_0 é o potencial de freiamento.

Um gráfico da corrente versus potencial elétrico é mostrado na Figura 3.3.

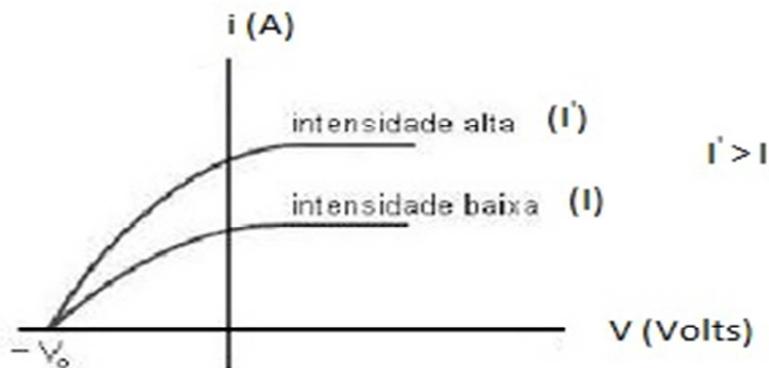


Figura 3.3: Corrente versus Potencial elétrico. Fonte: (Eisberg, 1979).

Aumentando-se a intensidade da radiação ($I' > I$) a corrente é aumentada, mas a quantidade eV_0 permanece constante $\rightarrow K_{máx}$, independente da intensidade. A independência do potencial de freiamento V_0 com a intensidade da luz não pode ser explicada pela teoria ondulatória (Eisberg, 1979).

Existem três resultados no efeito fotoelétrico que não podem ser explicados pela teoria ondulatória (Gasiorowicz, 1979):

- (I) O potencial de freiamento e, conseqüentemente, a energia cinética máxima dos elétrons, não dependem da intensidade da luz, mas de sua frequência. Uma luz azul de intensidade muito fraca arranca menos elétrons que a mesma luz com intensidade bem forte. Entretanto a energia cinética máxima dos fotoelétrons é a mesma, e isso é determinado pelo valor do potencial de freiamento V_0 ;
- (II) Segundo a teoria ondulatória, não deveria haver um mínimo de energia para a ocorrência do efeito fotoelétrico. A experiência mostra que existe uma frequência limite abaixo da qual não é possível observar o efeito fotoelétrico por maior que seja a intensidade da luz incidente;
- (III) Ainda segundo a teoria ondulatória, deveria existir um intervalo de tempo entre a incidência da luz e a emissão dos fotoelétrons. Isso seria o esperado, uma vez que a onda eletromagnética transporta energia que é uniformemente distribuída por toda a sua frente de onda. Os elétrons iriam, então, absorver essa energia gradualmente até adquirir o suficiente para sair do metal. Nenhum intervalo de tempo mensurável foi jamais detectado, mesmo com luz de baixa intensidade.

De acordo com Einstein (1905), cada fóton tem energia E dado por:

$$E = h\nu \tag{3.4}$$

onde h é a constante de Planck.

Assim, cada fóton de energia $h\nu$ será integralmente absorvido pelo elétron e parte de sua energia será usada para arrancá-lo e o restante ficará disponível para o elétron, agora livre, na forma de energia cinética (R. Shankar, 1994)

Temos então a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico:

$$h\nu = K + W \quad (3.5)$$

onde W é a energia necessária para arrancar os elétrons da superfície metálica, que é chamada função trabalho, e depende da natureza de cada material. Isolando K , vem:

$$h\nu - W = K \quad (3.6)$$

A máxima energia cinética $K_{máx} = eV_0$ será:

$$K_{máx} = eV_0 = h\nu - W \quad (3.7)$$

Fica então, claramente explicado porque o potencial de freiamento só depende da frequência da luz incidente (Cohen-Tannoudji, 1977).

Quando $K = 0$, temos

$$W = h\nu_0 \quad (3.8)$$

onde ν_0 será a menor frequência que a luz deve ter para ainda arrancar elétrons. É chamada frequência de corte, frequência umbral ou limiar fotoelétrico, e abaixo dessa frequência não pode haver o efeito fotoelétrico. A Figura 3.4 mostra a energia cinética máxima dos fotoelétrons.

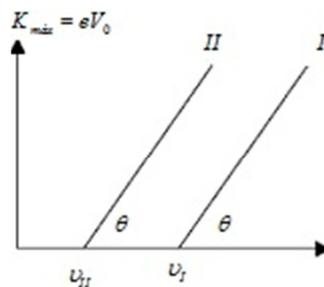


Figura 3.4: Energia cinética máxima dos fotoelétrons.

A inclinação deve ser a mesma para todos os gráficos, pois ela nos fornece o valor da constante de Planck:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{dK}{d\nu} = h \quad (3.9)$$

A existência da frequência de corte é um ponto favorável à teoria quântica e desfavorável à teoria ondulatória da luz. De acordo com a teoria ondulatória, qualquer frequência da luz incidente possibilitaria a saída dos elétrons, bastando para isso que se esperasse o tempo necessário para que os elétrons absorvessem energia suficiente para serem arrancados da placa metálica.

Pela teoria quântica, o elétron absorve toda a energia de um único fóton e sai da placa imediatamente, o que é confirmado pela experiência.

3.2.3 O Efeito Compton

De acordo com a teoria quântica para a luz, os fótons são partículas de energia $h\nu$ e massa de repouso nula, pois movem-se com a velocidade da luz (Eisberg, 1979).

Como partículas, eles devem também ter momentum e, sendo assim, podem transferir momentum e também energia se sofrerem uma colisão com uma partícula qualquer, um elétron por exemplo. Isto não apenas é verdade como foi espetacularmente demonstrado por Arthur Holy Compton, em 1923, em uma experiência que ficou conhecida como efeito Compton. A Figura 3.5 mostra o esquema do efeito Compton.

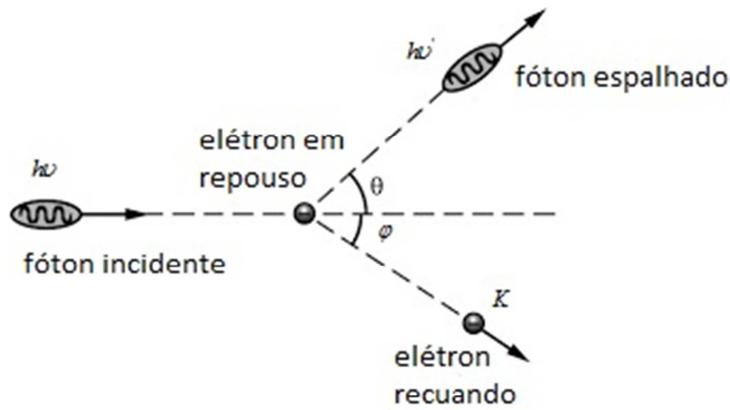


Figura 3.5: Esquema do efeito Compton

(i) Conservação da energia total:

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + K + m_0c^2 \quad (3.10)$$

$$K = h\nu - h\nu' \quad (3.11)$$

$$K = E - E'$$

A perda de energia pelo fóton aparece como a energia cinética do elétron.

(ii) Conservação do momentum:

$$\text{Eixo x: } p = p' \cos \theta + p_e \cos \varphi$$

$$p_e \cos \varphi = p - p' \cos \theta \quad (3.12)$$

$$\text{Eixo y: } p_e \sin \varphi = p' \sin \theta \quad (3.13)$$

Elevando ao quadrado (3.12) e (3.13):

$$p_e^2 \cos^2 \varphi = p^2 - 2pp' \cos \theta + p'^2 \cos^2 \theta$$

$$p_e^2 \sin^2 \varphi = p'^2 \sin^2 \theta$$

$$p_e^2 = p^2 - 2pp' \cos \theta + p'^2 \quad (3.14)$$

A partir daqui, precisamos de conhecimentos da Teoria da Relatividade de Einstein (fora do escopo desta unidade) para chegarmos à equação de Compton partindo de uma equação para a energia relativística do elétron:

$$E_e^2 = E_0^2 + p_e^2 c^2 \text{ onde } E_e = K + E_0, \text{ portanto:}$$

$$K^2 + 2KE_0 + E_0^2 = E_0^2 + p_e^2 c^2$$

$$p_e^2 c^2 = K^2 + 2KE_0$$

Da equação 3.11, temos $K=E-E'$, onde $E=pc$ para o fóton.

Daí, $K=(p-p')c$, então:

$$p_e^2 c^2 = (p - p')^2 c^2 + 2(p - p')cE_0$$

$$p_e^2 = (p - p')^2 + \frac{2E_0(p - p')}{c} \quad (3.15)$$

Igualando as equações 3.14 e 3.15, teremos:

$$p^2 - 2pp' \cos \theta + p'^2 = p^2 - 2pp' + p'^2 + \frac{2E_0(p - p')}{c}$$

$$pp'(1 - \cos \theta) = \frac{E_0}{c}(p - p') = m_0 c(p - p')$$

Para o fóton temos:

$$E = pc = h\nu = \frac{h\nu}{\lambda}, \text{ sendo } p = \frac{h}{\lambda}$$

Então, teremos:

$$\frac{h^2}{\lambda\lambda'}(1 - \cos \theta) = m_0 hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) \times \left(\frac{\lambda\lambda'}{m_0 c} \right)$$

$$\frac{h}{m_0 c}(1 - \cos \theta) = \lambda - \lambda'$$

que é a equação de Compton, sendo $\frac{h}{m_0c}$ o comprimento de onda de Compton para o elétron λ_c , onde $\lambda_c = 0,024\text{Å}$.

Como o fóton perde energia para o elétron: $\lambda' > \lambda \Rightarrow E' < E$

Em uma situação de máxima perda, ΔE é máximo $\Rightarrow K_e$ é máximo.

A máxima perda de energia do fóton ocorre quando $\Delta\lambda$ é máximo, ou seja:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda, \Delta\lambda \text{ máximo} \Rightarrow \lambda' \text{ máximo} \Rightarrow (1 - \cos\theta) \text{ máximo} \Rightarrow \theta = \pi$$

$$\text{Portanto: } (\Delta\lambda)_{\text{máx}} = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\pi) = 2\lambda_c$$

Se $\theta = \pi \Rightarrow$ o fóton retorna em sentido contrário ao fóton incidente, como mostra a Figura 3.6.

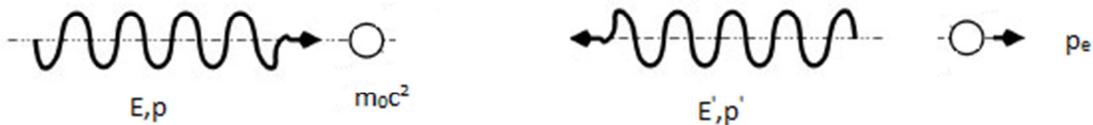


Figura 3.6: Fóton retornando em sentido contrário ao fóton incidente

Em uma situação de mínima perda de energia, $\Delta E = K$ tem o seu mínimo valor:

$$\Delta\lambda = \lambda_c (1 - \cos\theta) \text{ mínimo} \Rightarrow \cos\theta = 1 \Rightarrow \theta = 0$$

$$\Delta\lambda = \lambda_c$$

como mostra a Figura 3.7.



Figura 3.7: Fóton no mesmo sentido do fóton incidente

3.2.4 Raios X

No efeito fotoelétrico temos a energia dos fótons sendo transferida para os elétrons. Seria possível ocorrer o processo inverso, isto é, a energia cinética de um elétron pode ser transformada em um fóton? Esse feito não somente é possível como foi descoberto acidentalmente por Roentgen, em 1895, antes dos trabalhos de Planck e Einstein. Os raios X, assim chamados por Roentgen porque sua natureza era, então, desconhecida, são radiações eletromagnéticas de comprimento de onda muito pequeno, menor do que aproximadamente 1 \AA (R. W. Robinett, 1997).

Os fenômenos efeito fotoelétrico e Compton evidenciam plenamente que a radiação eletromagnética é constituída de fótons, partículas com energia e momentum bem definidos (e com massa nula, já que $E = pc = h\nu$). Por outro lado, os fenômenos de interferência são completamente inconciliáveis com a ideia corpuscular da radiação. Temos, então, um dualismo onda-partícula para a radiação eletromagnética, dualismo esse que não tem condições de ser entendido dentro de um quadro clássico. Esse dualismo onda-partícula manifesta-se também para a matéria.

Os raios X são produzidos quando elétrons emitidos por um cátodo, acelerados por uma diferença de potencial de alguns milhares de volts, são freados ao atingir o alvo, como mostra a Figura 3.8.

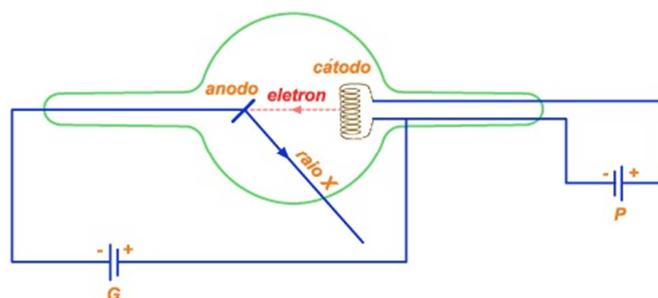


Figura 3.8: Tubo Coolidge de Raios X. Esta ilustração encontra-se em: <<http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>> Acesso em: 27 nov 2016.

De acordo com a teoria eletromagnética, cargas aceleradas devem irradiar ondas eletromagnéticas. Então é de se esperar que os raios X sejam ondas eletromagnéticas produzidas pela desaceleração dos elétrons quando estes são freados no alvo.

Propriedades dos Raios X:

- 1) Atravessam facilmente materiais opacos à luz;
- 2) Têm alto poder de penetração;
- 3) Sua trajetória é retilínea;
- 4) Não são defletidos por campos elétricos nem por campos magnéticos;
- 5) Provocam incandescência em substâncias fosforescentes;
- 6) Sensibilizam placas fotográficas.

Os elétrons do feixe incidente ao colidirem com o alvo podem perder diferentes quantidades de energia e, em geral, um elétron chegará ao repouso depois de várias colisões. Os raios X assim produzidos constituem um espectro contínuo como mostrado na Figura 3.9.

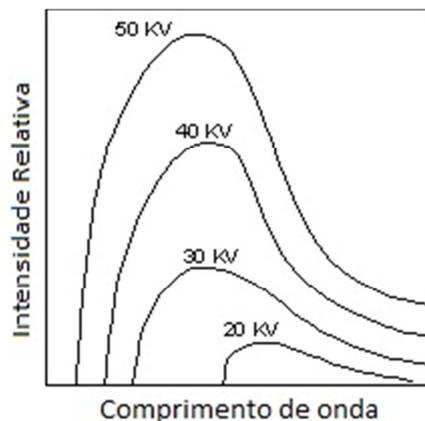


Figura 3.9. Espectro contínuo de Raios X

Como se vê na Figura 3.9, para uma dada energia dos elétrons (diferentes valores do potencial aplicado) há um mínimo bem definido λ_{\min} para os

comprimentos de onda cujo valor não depende do material do alvo. A teoria eletromagnética clássica não pode explicar esse fato que fica claro imediatamente se encararmos os raios X como fótons.

Um elétron de energia cinética inicial K chegando ao alvo é desacelerado pela interação com um núcleo pesado do alvo e a energia que se perde aparece na forma de radiação como um fóton de raios X. Se K' é a energia cinética do elétron após a colisão, então a energia do fóton é:

$$h\nu = K - K' \Rightarrow \frac{hc}{\lambda} = K - K'$$

O fóton de menor comprimento de onda, portanto mais energético, seria emitido quando um elétron perdesse toda a sua energia cinética em um processo de colisão. Então, com $K' = 0$, teremos:

$$\frac{hc}{\lambda_{\min}} = K = eV_0 \therefore \lambda_{\min} = \frac{hc}{eV_0}$$

$$hc = 1240 eV \text{ nm} \therefore \lambda_{\min} = \frac{1240}{V_0} \text{ nm}$$

O limite mínimo dos comprimentos de onda representa a conversão completa da energia dos elétrons em radiação X. Se $h \rightarrow 0 \Rightarrow \lambda_{\min} \rightarrow 0$ que é a precisão clássica. Vemos, então, que a própria existência de um λ_{\min} é um fenômeno quântico. A radiação com espectro contínuo da Figura 3.9 é chamada radiação de freiamento, ou como no alemão *bremstrahlung*, que significa exatamente radiação de freiamento.

Além do espectro *bremstrahlung* contínuo, também são emitidas linhas de raios X formando o chamado espectro característico. Este espectro de linhas é característico do material do alvo e varia de elemento para elemento.

Quando os elétrons incidentes são acelerados por diferenças de potencial muito grandes, eles se chocarão com o alvo com altíssima energia. Isso pode proporcionar o arrancamento de elétrons das camadas mais internas dos átomos do alvo. As camadas eletrônicas dos alvos do átomo se re-arranjarão

ocupando os estados de baixa energia desocupados pelo arranchamento dos elétrons.

Nessa transição, fótons são emitidos. Considerando os elétrons do alvo arrumados em camadas ao redor do núcleo, teremos a configuração apresentada na Figura 3.10.

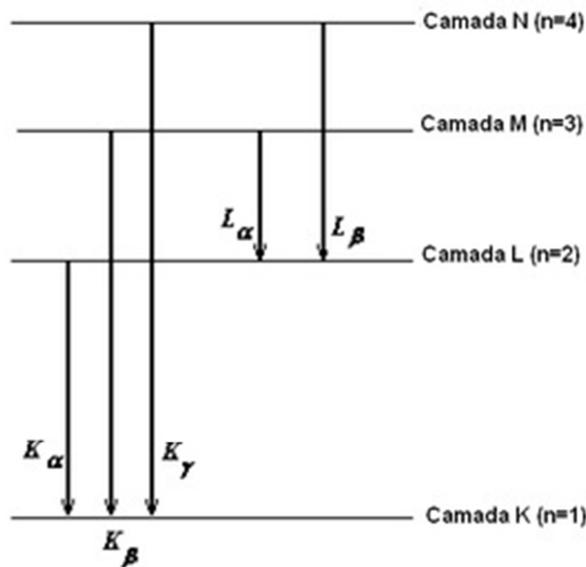


Figura 3.10: Transições de Raios X. Esta ilustração encontra-se em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Raios_X> Acesso em: 27 nov 2016.

Os raios X associados com a série K, mais energéticos são chamados raios X duros. Os associados com as séries menos energéticas L, M, são chamados raios X moles. Os raios X duros são mais penetrantes.

3.2.5 Difração de Raios X

A difração de raios X é uma evidência de que eles são ondas eletromagnéticas. Isso não foi inicialmente detectado em virtude do pequeno comprimento de onda dos raios X.

Um modo simples de analisar a difração de raios X foi proposto por Bragg em 1912. Considerando que um cristal é composto por um arranjo regular de átomos, é possível usar um cristal como rede de difração. Um feixe

de raios X de comprimento de onda λ incide sobre um cristal formando um ângulo θ com a família de planos do cristal chamados planos de Bragg, como mostra a Figura 3.11.

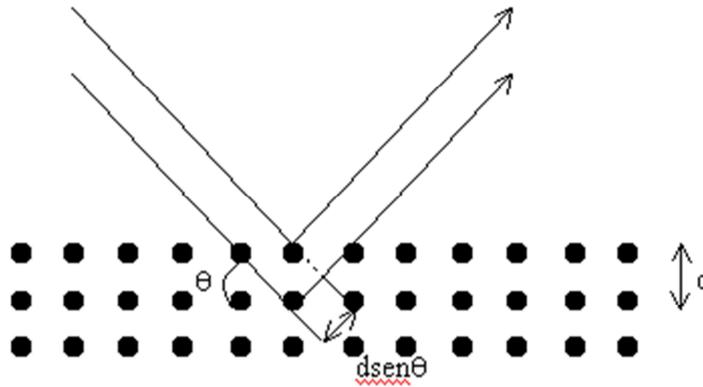


Figura 3.11: Espalhamento de raios X por um cristal. Fonte : Eisberg (1979).

A interferência construtiva ocorrerá quando os feixes incidentes forem paralelos e suas trajetórias diferirem de um número inteiro de comprimento de onda, isto é:

$$2d\text{sen}\theta = n\lambda; n=1,2,3,\dots$$

Se o espalhamento d entre os planos de Bragg adjacentes for conhecido, é possível calcular o comprimento de onda dos raios X.

3.2.6 Partículas e Ondas

Não obstante o grande sucesso do modelo de Bohr na explicação do átomo de hidrogênio, a teoria de Bohr continha várias inadequações. Por exemplo, o modelo falha na predição dos espectros de emissão e absorção de átomos de muitos elétrons. Ele supervaloriza a natureza corpuscular da matéria e não pode explicar a dualidade da radiação eletromagnética.

O primeiro passo dado na direção de uma nova mecânica dos sistemas atômicos foi dado por Louis Vitor de Broglie, em 1924. Em sua tese de

doutorado, ele postulou a generalização das características onda-partícula, não apenas para a radiação mas para a matéria.

Acompanhando cada elétron, por exemplo, existe uma onda (de natureza não eletromagnética) que guia, ou “pilota” o elétron através do espaço. Para os fótons (radiação eletromagnética), temos: $c = \lambda\nu \Rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu}$

Mas

$$E = h\nu = pc \Rightarrow \nu = \frac{pc}{h}$$
$$\lambda = \frac{ch}{pc} \therefore \lambda = \frac{h}{p}$$

é o postulado de de Broglie para o elétron (ou qualquer partícula):

$$\lambda = \frac{h}{p} \text{ e } \nu = \frac{E}{h}$$

ou seja, a energia é quantizada, o elétron é “pilotado” por uma onda não eletromagnética de $\lambda = \frac{h}{p}$.

Portanto, neste capítulo, foi apresentado o produto educacional. No capítulo 4 serão mostrados os procedimentos metodológicos e didáticos utilizados.

CAPÍTULO 4 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E DIDÁTICOS

Conforme apresentado no capítulo 1 deste trabalho, propõe-se um material didático de “Uma Proposta de Unidade de Ensino sobre a antiga Teoria Quântica como instrumento pedagógico alternativo”. Assim, neste capítulo, descrevem-se e justificam-se as opções metodológicas adotadas na aplicação do material didático.

Nossa proposta de unidade de ensino teve a participação direta dos alunos em sala de aula e todas as informações foram analisadas a partir de dados produzidos por meio de questionários, mapas conceituais, resolução de problemas e observação de imagens.

4.1 O IFMT e os estudantes avaliados

Nossa investigação foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso - IFMT, criado nos termos da Lei nº. 11.892, de 29 de dezembro de 2008, mediante integração do Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Cuiabá e da Escola Agrotécnica Federal de Cáceres. É uma instituição de educação superior, básica e profissional, pluricurricular e multicampi, especializada na oferta de educação profissional e tecnológica nas diferentes modalidades de ensino.

A área de atuação geográfica do IFMT, conta com 14 *campi* em funcionamento (Alta Floresta, Barra do Garças, Cáceres, Campo Novo do Parecis, Confresa, Cuiabá - Octayde Jorge da Silva, Cuiabá - Bela Vista, Juína, Pontes e Lacerda, Primavera do Leste, Rondonópolis, São Vicente, Sorriso e Várzea Grande). Possui quatro *campi* avançados, nos municípios de Diamantino, Lucas do Rio Verde, Tangará da Serra e Sinop. Atualmente conta com aproximadamente 25 mil alunos, nos mais de 100 cursos distribuídos nos

níveis: Superior (bacharelado, Licenciatura e Tecnologias), Pós-graduação (especializações e mestrados), Técnico (com ensino médio integrado, subsequente, concomitante e Proeja), Educação a Distância (UAB e Profucionário), além de cursos de curta duração, como FIC (Formação Inicial e Continuada).

A história do Instituto Federal de Mato Grosso começa em 1909, quando iniciaram-se as primeiras experiências em educação profissional e tecnológica no país. Nesse ano, foi criada a Escola de Aprendizes e Artífices de Mato Grosso, onde atualmente funciona o *Campus* Cuiabá - Cel. Octayde Jorge da Silva deste IFMT. Depois disso, no ano de 1943, foi criado o Aprendizado Agrícola de Mato Grosso, em Santo Antônio do Leverger, onde atualmente funciona o *Campus* São Vicente. Já em 1980, foi criada a Escola Agrotécnica Federal de Cáceres, atualmente *Campus* Cáceres. Após algumas mudanças de nome, chegamos ao ano de 2008, com três centros de referência em educação profissional no Estado: o Cefet Mato Grosso (em Cuiabá), o Cefet Cuiabá (em São Vicente) e a Escola Agrotécnica Federal de Cáceres. Nesse período, já estavam em funcionamento ou em fase de implantação as unidades de ensino descentralizadas (Uned), no bairro do Bela Vista (Cuiabá) e nos municípios de Pontes e Lacerda, Campo Novo do Parecis, Juína, Confresa, Barra do Garças e Rondonópolis.

Em 29 de dezembro de 2008, a Lei 11.892 cria os Institutos Federais em todo o País. Em Mato Grosso, a junção das três autarquias - Cefet Mato Grosso (em Cuiabá), o Cefet Cuiabá (em São Vicente) e Escola Agrotécnica Federal de Cáceres - cria o Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT), que desde então, em um processo de expansão e interiorização, alcançou diversas outras localidades, tais como Primavera do Leste, Várzea Grande, Alta Floresta, Diamantino, Lucas do Rio Verde e Tangará da Serra.

A proposta de unidade de ensino foi aplicada no 3º ano A, do Curso Técnico em Meio Ambiente, período integral representado por 32 alunos, com faixa etária entre 15 e 18 anos de idade. Na estrutura curricular da escola, a

turma tem duas aulas semanais da disciplina de Física, ministradas pelo autor, com duração de 50 minutos cada aula.

4.2 - Etapas da proposta de unidade de ensino

Aqui é apresentada uma descrição dos métodos de ensino desenvolvidos no produto educacional, com a demonstração dos recursos didáticos utilizados.

4.2.1 - Organizador prévio - vídeo aula

As unidades de ensino levam em consideração um conjunto de teorias de aprendizagem cujo objetivo é a promoção de um ensino com base na aprendizagem significativa (Moreira, 2011), sendo constituídas de etapas sequenciadas com a finalidade de gerar uma aprendizagem significativa, partindo dos pressupostos de que não há ensino sem aprendizagem. Foram criadas etapas de aplicação do produto, como mostra a Tabela 4.1, com o objetivo de organizar a investigação de forma contínua e sistemática.

Tabela 4.1 Etapas de aplicação do produto

ETAPAS DE APLICAÇÃO	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	TEMPO PREVISTO	TOTAL AULAS	OBJETIVOS
	<p>Organizador Prévio</p> <p>Exibição de vídeo que retrata conceitos de Física Quântica: “Mecânica Quântica: Uma viagem ao centro da matéria” Fonte: <https://www.youtu</p>	12 minutos		GERAL:

01	be.com/watch?v=NAk7w6AQh9A&list=PLzCg50zFaw0J6cK1AoPRjluYMpvNVuV98&index=2		01 aula	Contemplar o princípio do Conhecimento prévio dos alunos;
	Intervenção pedagógica face às situações problema;	8 minutos		
	Situações - Problema Contextualização dos aspectos conceituais presentes no vídeo, por intermédio da aplicação de questionamentos;	20 minutos		ESPECÍFICOS: Possibilitar aos alunos compreensão de alguns conceitos da Física Quântica;
	Análise Qualitativa e Quantitativa com base no princípio do conhecimento prévio;			

02	<p>Organizador Prévio</p> <p>Imagens observadas no vídeo: “Mecânica Quântica: Uma viagem ao centro da matéria”</p>	10 minutos	01 aula	<p>GERAL: Descrever os aspectos conceituais (vocábulo) presentes em suas estruturas cognitivas, relacionados às imagens inseridas no vídeo;</p> <p>ESPECÍFICO: Possibilitar ao público alvo relacionar aspectos conceituais face às imagens inseridas no vídeo;</p>
	<p>Intervenção pedagógica face às situações problemas;</p>	5 minutos		
	<p>Situações - Problema</p> <p>Aplicação de questionário sobre os aspectos conceituais subjacentes nas imagens visualizadas no vídeo;</p>	30 minutos		

03	<p>Leitura do artigo “MAPAS CONCEITUAIS: AVALIANDO A COMPREENSÃO DOS ALUNOS SOBRE O EXPERIMENTO DO EFEITO FOTOELÉTRICO” e posterior construção de um Mapa Conceitual. (ALMEIDA, 2004)</p>	45 minutos	01 aula	<p>GERAL: Compreender aspectos conceituais, utilizando como suporte a leitura de um artigo sobre Mecânica Quântica;</p> <p>ESPECÍFICO: Construir um mapa conceitual através da leitura do artigo;</p>
04	<p>Intervenção pedagógica face às situações problema das atividades anteriores;</p>	90 minutos	02 aula	<p>GERAL: Possibilitar aos alunos a consolidação parcial dos aspectos conceituais relativos a alguns conceitos de Mecânica Quântica.</p> <p>ESPECÍFICOS: Consolidar os conceitos relacionados à</p>

				Física Quântica.
05	<p>Aplicação do Produto Educacional – Material didático sobre Introdução à Física Quântica</p> <p>Situação – Problema</p> <p>Aplicação de um questionário que será respondido pelos alunos.</p> <p>Análise qualitativa e quantitativa.</p>	45 minutos	04 aula	<p>Possibilitar ao aluno a consolidação dos conceitos relativos à Física Quântica através da utilização do produto educacional desenvolvido.</p>
06	<p>Avaliação do produto educacional sobre o tema “Física Quântica”</p>	45 minutos	01 aula	<p>Verificar se o material didático contribuiu para uma aprendizagem significativa.</p>

A etapa de aplicação 1 da unidade de ensino sobre Introdução à Teoria Quântica foi aplicada na turma do 3º ano A com um total de 32 alunos, em que, nesta etapa e nas demais, os alunos foram identificados da seguinte forma: 3A1, 3A2, 3A3, ..., 3A32, de forma a preservar a identidade dos mesmos. Um vídeo que retrata conceitos de Física Quântica: “Mecânica Quântica: Uma viagem ao centro da matéria” foi exibido aos alunos com o objetivo de diagnosticar o conhecimento prévio de uma maneira não formal, possibilitando aos alunos

compreender alguns conceitos relacionados à Teoria Quântica. Ao término da apresentação em 12 minutos, o professor discutiu com os alunos os assuntos abordados durante a vídeo-aula e todos fizeram comentários a respeito. Em seguida, após a contextualização dos aspectos conceituais presentes no vídeo, foi feita a aplicação de um questionário de conhecimentos prévios com o objetivo de investigar os conhecimentos dos alunos, como mostra a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Questionário de conhecimentos prévios

1 - A partir da visualização do vídeo, responda os questionamentos relacionados, inserindo um X conforme sua concepção.

Questionamentos	Si m	Mais ou Men os	Não	Nã o sei
a) O vídeo deixou claro o que estuda a Mecânica quântica?	[]	[]	[]	[]
	Justifique: _____ _____			
b) Você acredita que uma partícula pode estar em dois ou mais lugares ao mesmo tempo?	[]	[]	[]	[]
c) Já tinha ouvido falar em dualidade onda-partícula?	[]	[]	[]	[]
d) Existe algo mais rápido que a velocidade da luz?	[]	[]	[]	[]
	Se Sim, o que pode ser mais rápido?; _____ _____ _____			

e) Você relaciona conceitos de Física Moderna estudados em aulas anteriores à discussão desse tema?	[]	[]	[]	[]
	Se Sim , quais conceitos;			
	a) _____			
	b) _____			
c) _____				

2 - Registre quatro palavras relacionadas à Física Quântica.

3 - Conceitue as palavras escolhidas da atividade anterior.

4 - Defina os conceitos do item e)

4.2.2 - Observação de imagens contidas no vídeo

A forma como o professor utiliza os recursos didáticos disponíveis está relacionada à compreensão do aluno. O conteúdo abordado pode ser melhor compreendido uma vez que os recursos proporcionam uma maior dinâmica em sala de aula. A exposição de imagens em forma de vídeo-aula auxilia na compreensão do conteúdo abordado pelo professor. No desenvolvimento da aprendizagem do aluno, o uso de imagens desperta a facilidade para armazenar o conteúdo que está sendo trabalhado, contribuindo para o processo de formação de conceitos.

Muitos professores utilizam a imagem de maneira restrita. Dessa forma, surge a necessidade de problematizá-la como recurso didático. O trabalho com imagens é um recurso pouco utilizado por professores de Física (Moreira, 2005), daí a importância de conscientizar o educador que a imagem é um método que facilita e constrói o senso crítico do aluno.

Se trabalhadas corretamente, as imagens fornecem uma visão ampla do assunto abordado, sendo uma forma subjetiva de transmitir os conceitos. Deve-se buscar o desenvolvimento da percepção do aluno quanto à interpretação das imagens, passadas despercebidas pelo professor. Portanto, o estudo das imagens (Moreira, 2005), será extremamente relevante para a Física e para a formação do estudante.

Nosso objetivo na observação das imagens contidas no vídeo é descrever os conceitos presentes cognitivamente no estudante, contemplando desta forma o princípio da reconciliação integradora. Foi entregue aos estudantes um questionário com o objetivo de descrever os conceitos relacionados às imagens observadas. A Tabela 4.3 mostra o questionário de reconciliação integradora.

Tabela 4.3 Questionário de reconciliação integradora

1 - Após assistir o vídeo, escreva uma resposta relacionada à imagem apresentada no vídeo, conforme relação abaixo.

Imagens	Resposta Relacionada à Imagem
a) Fenda dupla	a) _____ b) _____
b) Partículas	a) _____ b) _____
c) Ondas	
d) Observador	a) _____ b) _____
e) Objeto observado	a) _____ b) _____

2) Defina os conceitos das cinco respostas informadas na questão anterior.

4.2.3 – Avaliação do artigo e construção de mapas conceituais

O mapa conceitual é uma estrutura em forma de esquemas que representa uma coletânea de conceitos imersos numa rede de proposições. É considerado um estruturador do conhecimento, pois permite mostrar de que maneira o conhecimento sobre determinado conteúdo organiza-se na estrutura cognitiva do estudante, podendo desta forma visualizar e analisar a sua profundidade. Também pode ser entendido como uma representação visual de compartilhamento de significados, apresentando como o estudante compreende as relações entre os conceitos enunciados. O mapa conceitual é governado pela teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que evidencia a forma como o ser humano organiza o conhecimento através de uma hierarquia de conceitos.

A terceira etapa de aplicação trata da construção de um mapa conceitual utilizando seis conceitos-chaves: Efeito fotoelétrico, Efeito Compton, Dualidade onda-partícula, Raios-X, Partículas e Ondas, a partir da leitura do artigo “Mapas Conceituais: Avaliando a compreensão dos alunos sobre o experimento do efeito fotoelétrico” (Almeida, 2004). A Tabela 4.4 apresenta esta etapa em termos das atividades desenvolvidas, tempo previsto e objetivos.

Tabela 4.4 Leitura do artigo sobre Mapas Conceituais: atividades desenvolvidas, tempo previsto e objetivos

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	TEMPO PREVISTO	OBJETIVOS
Leitura do artigo “MAPAS CONCEITUAIS: AVALIANDO A COMPREENSÃO DOS ALUNOS SOBRE O		GERAL: Compreender aspectos conceituais, utilizando como suporte a leitura de um artigo sobre Mecânica Quântica;

EXPERIMENTO DO EFEITO FOTOELÉTRICO” e posterior construção de um Mapa Conceitual.	45 minutos	01 aula	ESPECÍFICO: Construir um mapa conceitual através da leitura do artigo;
---	------------	---------	---

Os alunos fizeram a leitura do artigo com antecedência, sendo que antes foram formados grupos para discussão coletiva, com intervenções pedagógicas do professor. Em seguida, os alunos construíram um mapa conceitual, conforme solicitado:

Com base na leitura do Artigo “MAPAS CONCEITUAIS: AVALIANDO A COMPREENSÃO DOS ALUNOS SOBRE O EXPERIMENTO DO EFEITO FOTOELÉTRICO”, construa um mapa conceitual utilizando seis conceitos-chaves mapeados relacionados a seguir: a - Efeito Fotoelétrico; b - Efeito Compton; c - Dualidade onda-partícula; d - Raios X; e - Partículas e Ondas;

4.2.4 - Intervenção pedagógica

A intervenção pedagógica ocorre com a interferência que o professor faz sobre o processo de aprendizagem do aluno, no momento que as dúvidas surgem. Nessa intervenção, o procedimento adotado atua no processo, com a finalidade de compreender, explicar e corrigir.

Nessa etapa, procurou-se consolidar parcialmente os conceitos relativos à Teoria Quântica por meio de discussões e aplicação de questionamentos. Após a visualização do vídeo, foi aplicado o seguinte questionamento aos alunos:

QUESTIONÁRIO - VISUALIZAÇÃO DO VÍDEO

1 - Responda **S** para Sim e **N** para Não aos questionamentos relacionados a seguir:

- a) As partículas podem estar em dois ou mais lugares ao mesmo tempo?
() SIM () NÃO
- b) A dualidade onda-partícula ocorre porque a luz tem comportamento corpuscular apenas?
() SIM () NÃO
- c) Existe algo mais rápido que a velocidade da luz?
() SIM () NÃO
- d) A Física Quântica é determinista?
() SIM () NÃO
- e) A Física Quântica é holística?
() SIM () NÃO
- f) Na Física Quântica, o observador influencia o objeto observado?
() SIM () NÃO
- g) É possível a transmissão instantânea de informação entre dois pontos do espaço, sem que haja troca de energia ou matéria?
() SIM () NÃO

A Tabela 4.5 apresenta a intervenção pedagógica em termos das atividades desenvolvidas, tempo previsto e objetivos.

Tabela 4.5 Etapa de aplicação 4: Intervenção pedagógica

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	TEMPO PREVISTO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
Intervenção pedagógica face às situações problema das atividades anteriores, contemplando a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integradora;	90 minutos	02 aulas
		<p>GERAL: Possibilitar aos alunos a consolidação parcial dos aspectos conceituais relativos a alguns conceitos de Mecânica Quântica.</p> <p>ESPECÍFICOS: Consolidar os conceitos relacionados à Física Quântica.</p>

4.2.5 – Aplicação do produto educacional

Nos programas de Mestrado Profissionais, o produto educacional deve ser: “[...] uma sequência didática, um aplicativo computacional, um jogo, um vídeo, um conjunto de vídeo-aulas, um equipamento, uma exposição, etc.”. O produto gerado da dissertação, de acordo com Moreira (2011) deve ser: “[...] algo identificável e independente da dissertação”. Embora a dissertação seja sobre o produto, o mesmo deve ter uma “identidade própria” e deve estar disponível na página do programa, para ser analisado e utilizado pelos professores, sempre preocupando-se com a melhoria na educação básica.

Partindo desses pressupostos, desenvolvemos um material didático com a finalidade de proporcionar a aprendizagem de Introdução à Teoria Quântica aos alunos e professores da educação básica, servindo também como material de apoio ao professor nos processos de ensino e de aprendizagem.

O produto educacional na forma de material didático foi apresentado em aulas expositivas com uso exaustivo do quadro e giz, bem como discutido com os alunos, possibilitando a consolidação dos conceitos. Após quatro aulas foram aplicados os seguintes questionamentos:

QUESTIONÁRIO -PRODUTO EDUCACIONAL

- a) Explique o fenômeno do feixe de elétrons sobre duas fendas.
- b) No efeito fotoelétrico ocorre emissão eletrônica. Em quais outros mecanismos também pode ocorrer emissão eletrônica?
- c) Quais foram os resultados experimentais do efeito fotoelétrico obtidos por Philipp Lenard?
- d) Quais os três resultados no efeito fotoelétrico que não podem ser explicados pela teoria ondulatória?
- e) Explique o efeito Compton.
- f) Quais são as propriedades dos Raios-X?
- g) Fale a respeito de Difração de Raios-X.
- h) Por quem foi dado o primeiro passo na direção de uma nova mecânica dos sistemas atômicos?
- i) O trabalho realizado para remover um elétron da superfície do zinco é $5,8 \times 10^{-19}$ J. Determine a energia do elétron ejetado, sabendo que a frequência liminar do zinco para produzir o efeito fotoelétrico é de 9×10^{14} Hz.
- j) A energia obtida para o fotoelétron do exemplo anterior foi $E = 1,67 \times 10^{-20}$ J. Utilizando este resultado calcule a velocidade com que o elétron abandona a superfície do zinco, sabendo-se que sua massa é de $9,1 \times 10^{-31}$ Kg.

4.2.6 – Avaliação do produto educacional

Na aula seguinte, foi aplicada uma avaliação para verificar se o material didático contribuiu para uma aprendizagem significativa através do seguinte questionamento: *1) A partir da aplicação do material didático sobre Física Quântica, fale se o produto educacional foi útil na obtenção de conhecimentos potencialmente significativos e justifique sua resposta.*

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões das etapas de aplicações das propostas de ensino organizadas em seis etapas e todas cumpridas com a participação dos alunos.

5.1 Análise do Organizador Prévio – Vídeo Aula

Com o finalidade de introduzir novas estratégias em sala de aula foi realizada a etapa inicial da proposta representada pela exibição de um vídeo que retrata conceitos de Física Quântica: “Mecânica Quântica: Uma viagem ao centro da matéria”, numa pesquisa participativa com os alunos, desenvolvendo um instrumento que chamamos de organizador prévio. A partir da lista de questionamentos básicos estabelecidos para o desenvolvimento de um modelo conceitual elementar que permita a compreensão posterior da unidade de Física Quântica que estamos propondo, foi montado um teste com cinco questões, quais sejam: a) O vídeo deixou claro o que estuda a Mecânica quântica?; b) Você acredita que uma partícula pode estar em dois ou mais lugares ao mesmo tempo?; c) Já tinha ouvido falar em Dualidade onda-partícula?; d) Existe algo mais rápido que a velocidade da luz?; e) Você relaciona conceitos de Física Moderna estudados em aulas anteriores à discussão desse tema?

Na Etapa de Aplicação I, os alunos assistiram ao vídeo e posteriormente fizemos discussões em grupo a respeito do mesmo, sem contato com os conceitos mais aprofundados relacionados à Física Quântica. Após a análise das respostas fizemos o primeiro levantamento das concepções prévias dos alunos.

A Figura 5.1 apresenta um grupo de alunos assistindo ao vídeo. Os alunos foram divididos em grupos de cinco para que todos pudessem assistir ao vídeo.



Figura 5.1 Alunos assistindo ao vídeo “Mecânica Quântica: Uma viagem ao centro da matéria”.

No questionário de conhecimentos prévios, respondido pelos alunos na Etapa de Aplicação I, houve a ausência de 16 alunos, totalizando 50,00% de ausentes. Esse grande número de faltosos justifica-se devido a uma viagem de campo realizada pela escola, sendo que não houve disponibilidade por parte dos alunos para marcar a aula em outro momento. A Figura 5.2 representa em gráfico, os 32 alunos matriculados.

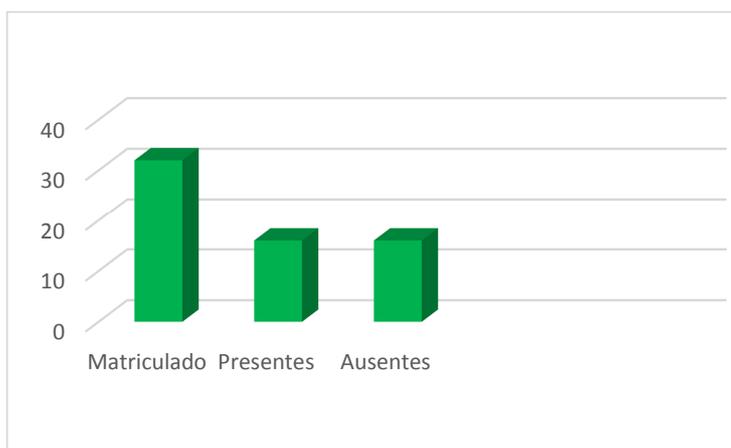


Figura 5.2: Participação dos alunos na etapa de aplicação do vídeo

A questão 1 (a) perguntou aos estudantes se o vídeo apresentado deixou claro o que estuda a Mecânica Quântica (MQ). Na questão (a), nove alunos disseram que o vídeo deixou mais ou menos claro o que estuda a Mecânica Quântica e outros sete alunos responderam que o vídeo deixou claro o que se estuda, sendo que nenhum dos alunos respondeu “não” ou “não sei”. A Figura 5.3 mostra o resultado deste questionamento. Para muitos alunos da turma, este foi o primeiro contato que tiveram com a Física Moderna.

Após a exibição do vídeo, discutimos bastante a respeito do que estuda a Mecânica Quântica e todas as dúvidas foram esclarecidas. O vídeo mostra apenas implicitamente o que estuda a MQ, que é uma teoria física aplicada com sucesso no estudo de sistemas físicos com dimensões próximas ou abaixo da escala atômica, como moléculas, átomos, elétrons, prótons e outras partículas subatômicas, podendo também descrever fenômenos macroscópicos. A teoria formal da MQ, desenvolvida no primeiro terço do século XX, foi fruto dos esforços conjuntos de muitos físicos e matemáticos tais como: Erwin Schrödinger, Werner Heisenberg, Einstein, P.A.M. Dirac, Niels Bohr, John von Neumann, entre outros.

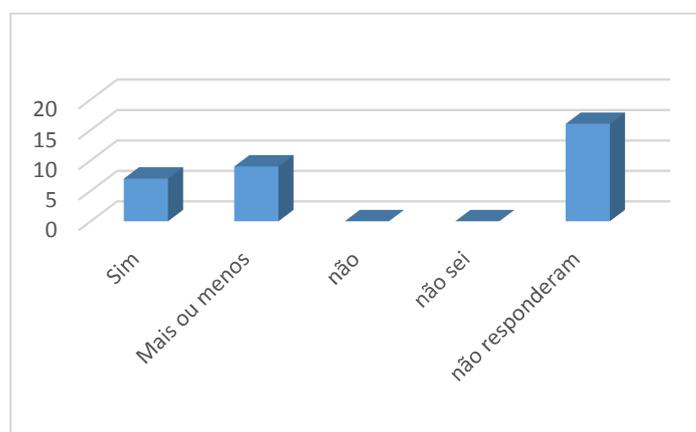


Figura 5.3: Participação dos alunos na questão a) Sobre se “o vídeo deixou claro o que estuda a Mecânica Quântica?”

Na questão 1 b) foi questionado: Você acredita que uma partícula pode estar em dois ou mais lugares ao mesmo tempo? Após análise das respostas, foi constatado que nove alunos acreditam, três alunos acreditam mais ou menos,

três alunos responderam “não”, e um aluno respondeu “não sei”. Analisando a questão, há um princípio, o da Superposição quântica, que confirma a possibilidade de uma partícula estar em dois ou mais lugares ao mesmo tempo. Este princípio já foi constatado em moléculas e partículas, mas não há certeza se o mesmo ocorre com objetos maiores. Caso uma partícula possa ir para uma posição ou outra, ela está indo para ambas as direções ao mesmo tempo, até que o observador constate onde ela está. Embora confuso, é a superposição quântica que permite o gato do experimento mental de Schrödinger estar vivo e morto ao mesmo tempo. O gato de Schrödinger está junto a um frasco com veneno e é colocado em uma caixa fechada protegida. Caso um contador Geiger detecte radiação, o frasco é quebrado, seguida da liberação do veneno que mata o gato. Para a MQ, após um certo tempo, o gato estará simultaneamente morto e vivo. Quando olhamos para dentro da caixa, apenas observa-se o gato ou vivo ou morto, não uma mistura de estados vivo e morto. A Figura 5.4 mostra a experiência mental de Schrödinger.

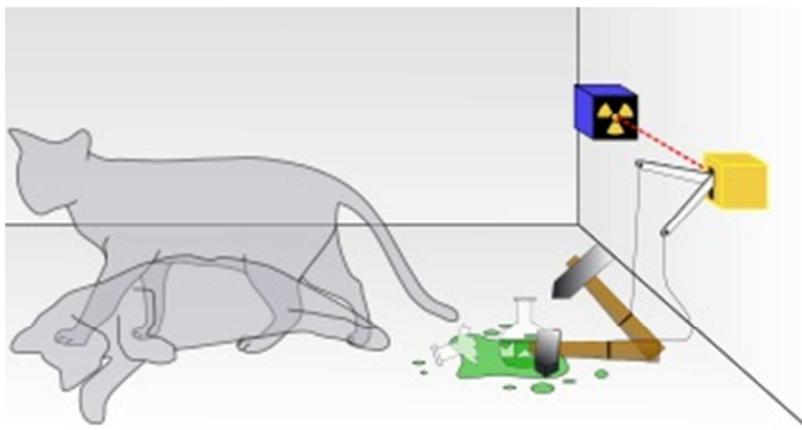


Figura 5.4 Experiência mental de Schrödinger

Na questão 1 c) é questionado se o estudante já tinha ouvido falar em dualidade onda-partícula. Apenas três estudantes responderam que “sim” e 13 estudantes responderam que “não”. Como este assunto raramente é abordado

no ensino médio, grande parte dos estudantes não ouviram falar a respeito. A Figura 5.5 mostra os estudantes durante a etapa de aplicação I.



Figura 5.5 Estudantes durante a Etapa de Aplicação I.

A dualidade onda-partícula é uma propriedade básica que consiste na capacidade de entes físicos de dimensões subatômicas se comportarem ou terem propriedades tanto de ondas como de partículas, particularmente a luz tem esse comportamento.

Uma polêmica sobre esse caráter corpuscular ou ondulatório da radiação manteve-se desde Newton até 1905, quando Einstein publicou uma teoria estabelecendo a validade de um e outro comportamento.

A alternativa 1 d) apresenta o seguinte questionamento: Existe algo mais rápido que a velocidade da luz? Após a análise das respostas, verificamos que dez estudantes responderam que há algo mais rápido que a luz, porém alguns não disseram o que era mais rápido que a luz, três estudantes responderam que não e três responderam que não sabiam. O estudante 3A8 respondeu que é possível algo mais rápido que a luz, “quando uma partícula pode estar em dois ou mais lugares ao mesmo tempo”, isso é possível. Já para o estudante 3A20, qualquer movimento de partículas é mais rápido que a velocidade da luz. Para o estudante 3A6, a interação entre átomos é mais rápida que a luz. Para este

estudante, é como se a luz, por ser visível, e estar entre nós, possuísse velocidade menor que partículas atômicas. O estudante 3A27 foi mais além e disse que a capacidade das pessoas de se comunicar, ao mesmo tempo, em lugares diferentes é mais rápida que a luz. Na realidade, são todas concepções espontâneas dos estudantes, e atualmente há muita especulação sobre a existência de entes físicos com velocidades superiores a luz, lembrando que a velocidade da luz no vácuo é de 300.000 km/s. Atualmente, não há nada encontrado que supere este limite inexpugnável.

Na questão 1 e): Você relaciona conceitos de Física Moderna estudados em aulas anteriores com a discussão desse tema? Após análise das respostas, três alunos responderam “sim”, seis responderam “mais ou menos”, cinco responderam “não” e um respondeu que “não sabia”. Para o estudante 3A6, a “dualidade da partícula” e a velocidade da luz são conceitos que se relacionam à Física Moderna. Os conceitos de Física Moderna raramente são discutidos no ensino médio, pois os conteúdos da Física Clássica são priorizados.

Na questão 2, foi solicitado registrar quatro palavras relacionadas à Física Quântica, e na questão 3, deveriam conceituar as palavras escolhidas na atividade anterior. Os estudantes listaram as seguintes palavras: probabilidade, dualidade, mais de um referencial, ondas eletromagnéticas, material, partículas, velocidade, espectro eletromagnético, efeito fotoelétrico, ondas, átomos em movimento, relativismo e modificação. A palavra probabilidade foi registrada pela maioria dos estudantes, sendo que usaram várias justificativas para escolha, dentre elas:

- i) (3A28) “A Física Quântica está mais ligada à probabilidade, pois não é uma certeza”;
- ii) (3A29) “Probabilidade, pois um objeto pode estar em mais de um lugar, mais de um referencial, porque depende do modo que o objeto ou o observador está localizado;
- iii) (3A12) “Probabilidade não é uma coisa certa, é um evento ao acaso”;
- iv) (3A32) “As chances possíveis para ocorrer o fenômeno”;

v) (3A7) “Algo meio incerto, não havendo a total certeza de uma determinada resposta”.

Embora estejam corretos na escolha da palavra probabilidade, as respostas dadas são confusas e muitas vezes levam a duplas interpretações. Podemos voltar aqui à questão da natureza dual da luz, ora se comportando como onda, ora como partícula. Daí surge a questão: a luz é uma partícula ou uma onda? A busca para solucionar essa questão impulsionou o desenvolvimento da Teoria Quântica, bem como motivou diversas pesquisas matemáticas em Probabilidade.

5.2 Análise das Imagens

A Etapa de Aplicação II foi caracterizada pela análise das imagens contidas no vídeo da Etapa de Aplicação I, com a finalidade de verificar os conhecimentos espontâneos dos alunos para, posteriormente, relacioná-los aos novos conhecimentos aceitos pela comunidade científica. Após assistir novamente ao vídeo, os alunos observaram atentamente as imagens e, na sequência, foi disponibilizado um questionário com duas questões, conforme mostra a Tabela 4.3 do Capítulo 4.

Na questão 1 desta etapa, foi solicitado ao aluno dar respostas relacionadas às seguintes imagens: fenda dupla, partículas, ondas e observador. Na questão 2 foi solicitada uma definição para os conceitos das cinco respostas informadas na questão anterior. As respostas dos alunos foram as mais diversas e em momento algum sofreu interferência do professor. Após análise das respostas, observamos que os conhecimentos prévios dos estudantes são válidos, mas posteriormente, na etapa de aplicação 5, foram adaptados aos conceitos aceitos pela comunidade científica. Os quadros 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, referentes ao questionário de reconciliação integradora da Etapa de Aplicação II, dos estudantes, 3A2, 3A8, 3A22 e 3A30, respectivamente, são apresentados a seguir.

Quadro 5.1.: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A2

1 – Após assistir o vídeo, escreva uma resposta relacionada com a imagem apresentada no vídeo, conforme relação abaixo.

Imagens	Resposta Relacionada com a Imagem
a) Fenda dupla	Matéria que não passa pela fenda. Matéria composta como ondas.
b) Partículas	São compostas como matéria em sentido utilidade.
c) Ondas	São espalhadas por onde passam.
d) Observador	Influência no resultado, se há de se comporta como matéria ou não como onda.
e) Objeto observado	Sua "função" vai determinar a partir do observador.

2) Defina os conceitos das 5 respostas informadas na questão anterior.

a) É a ação de uma matéria se comporta como uma onda.

b) São partículas, toda matéria, que se propaga faz um caminho utilidade sem direção.

c) Onda é toda energia que se espalha por onde passa, podendo ou não carregar matéria.

d) A interação do observador influencia no resultado do comportamento de uma matéria ou onda.

e) A matéria só tem seu comportamento influenciado pelo observador se pode se comportar como matéria ou ser observada e como onda se não ser observada.

Quadro 5.2.: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A8

ETAPA DE APLICAÇÃO II

APENDICE C – QUESTIONÁRIO DE RECONCILIAÇÃO INTEGRADORA

1 – Após assistir o vídeo, escreva uma resposta relacionada com a imagem apresentada no vídeo, conforme relação abaixo.

Imagens	Resposta Relacionada com a Imagem
a) Fenda dupla	Dualidade matéria
b) Partículas	
c) Ondas	Difração
d) Observador	elhe elhe
e) Objeto observado	elétrons

2) Defina os conceitos das 5 respostas informadas na questão anterior.

- a) Dualidade: dois ou mais lugares que podem ser ocupados por uma matéria (elétrons) ao mesmo tempo.
- b) Matéria: tudo aquilo que podemos sentir e pegar.
- c) Difração: quando passa, espalha.
- d) Elhe: através dos olhos nós observamos tudo que conseguimos.
- e) elétrons: é uma dualidade, pois pode ser desviado como matéria e onda.

Quadro 5.3.: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A22

1 – Após assistir o vídeo, escreva uma resposta relacionada com a imagem apresentada no vídeo, conforme relação abaixo.

Imagens	Resposta Relacionada com a Imagem
a) Fenda dupla	se a luz tem um propósito, como ondas
b) Partículas	ela se comporta como matéria, na prática pelo buraco
c) Ondas	ela passa e se espalha, fica difrada.
d) Observador	O observador faz uma interferência.
e) Objeto observado	se comporta como matéria.

2) Defina os conceitos das 5 respostas informadas na questão anterior.

- a) Quando se divide quando observamos a partir da fenda dupla
- b) Se comporta como matéria, não se espalha como as ondas.
- c) De ondas de matéria, se espalha.
- d) Quando com o observador, não se comporta como matéria, tem onda, se comporta como ondas.
- e) O objeto observado se modifica ou se desvia de modo anômalo.

Quadro 5.4.: Resposta relacionada à imagem apresentada pelo aluno 3A30

1 – Após assistir o vídeo, escreva uma resposta relacionada com a imagem apresentada no vídeo, conforme relação abaixo.

Imagens	Resposta Relacionada com a Imagem
a) Fenda dupla	Qualidade
b) Partículas	Composto de átomos que possuem um espalhar-se pelo objeto
c) Ondas	Longitudinais que se espalham pelo objeto
d) Observador	O comportamento de elétrons durante a difração
e) Objeto observado	Difração de elétrons, no caso a difração de elétrons como onda e depois como matéria no objeto

2) Defina os conceitos das 5 respostas informadas na questão anterior.

a) A dualidade é como se elétrons se comporta como matéria e como onda

b) As partículas são matéria, elétrons e átomos

c) As ondas são frequências como as liberadas quando falamos ou pulso de luz

d) O observador é quem dá o experimento e como ele dá interferência

e) O objeto observado é utilizado para testar o comportamento dos elétrons

Os quadros 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, demonstram que os estudantes 3A2, 3A8, 3A22 e 3A30 apresentam conhecimentos prévios relevantes e conseguem fazer a reconciliação integradora das proposições relacionadas às imagens. Observamos também que muitos alunos conseguem estabelecer boas relações entre os conceitos e imagens, que serão posteriormente discutidos nas etapas subsequentes. Outros resultados observados são em relação à visão superficial que os alunos possuem em relação aos conceitos abordados.

Os questionamentos que são feitos aos estudantes nesta etapa são uma estratégia para avaliar e explorar os conhecimentos previamente estabelecidos na estrutura cognitiva dos mesmos, bem como esclarecer as dúvidas que aparecem com o intuito de promover uma aprendizagem significativa.

5.3 Análise da construção dos mapas conceituais

A finalidade principal desta Etapa de Aplicação III é obedecer o chamado “princípio da não centralidade do livro texto”, proposto por Moreira (2005). Discutimos o artigo “Mapas Conceituais: Avaliando a Compreensão dos alunos sobre o experimento do efeito fotoelétrico”, apresentando de forma didática os conceitos relacionados ao Efeito Fotoelétrico.

Os alunos foram divididos em cinco grupos de estudo para posterior discussão do artigo e subsequente apresentação de seminários, abandonando, desta forma, a narrativa, aprendendo com criticidade e coerência. O artigo foi entregue com bastante antecedência e os alunos tiveram tempo para absorver os conceitos. Cada grupo teve 20 minutos para exposição, sendo que o tempo restante serviu para intervenções do professor e colegas.

Após esta etapa, foi solicitado aos alunos a construção de um mapa conceitual, com significados, relações e hierarquias conceituais, utilizando como guia o artigo apresentado, onde mapeamos cinco conceitos-chaves: Efeito fotoelétrico, Efeito Compton, Dualidade onda-partícula, Raios X, Partículas e Ondas.

Para construir os mapas, os estudantes procuraram se aprofundar em relação aos conceitos chaves sugeridos, fazendo uso de materiais didáticos encontrados por eles na internet. Entretanto, outros estudantes, utilizaram um número menor de conceitos, sem fazer qualquer pesquisa a respeito. Observamos nos mapas que quanto maior o número de informações fundamentadas, mais interligações entre elas os estudantes conseguiram fazer.

As Figuras 5.6, 5.7, 5.8, referentes à Etapa de Aplicação III, dos estudantes, 3A11, 3A12 e 3A22, respectivamente, são apresentadas a seguir.

1 – Com base na leitura do Artigo "MAPAS CONCEITUAIS: AVALIANDO A COMPREENSÃO DOS ALUNOS SOBRE O EXPERIMENTO DO EFEITO FOTOELÉTRICO", construa um mapa conceitual utilizando 6 (seis) conceitos-chaves mapeados relacionados a seguir:

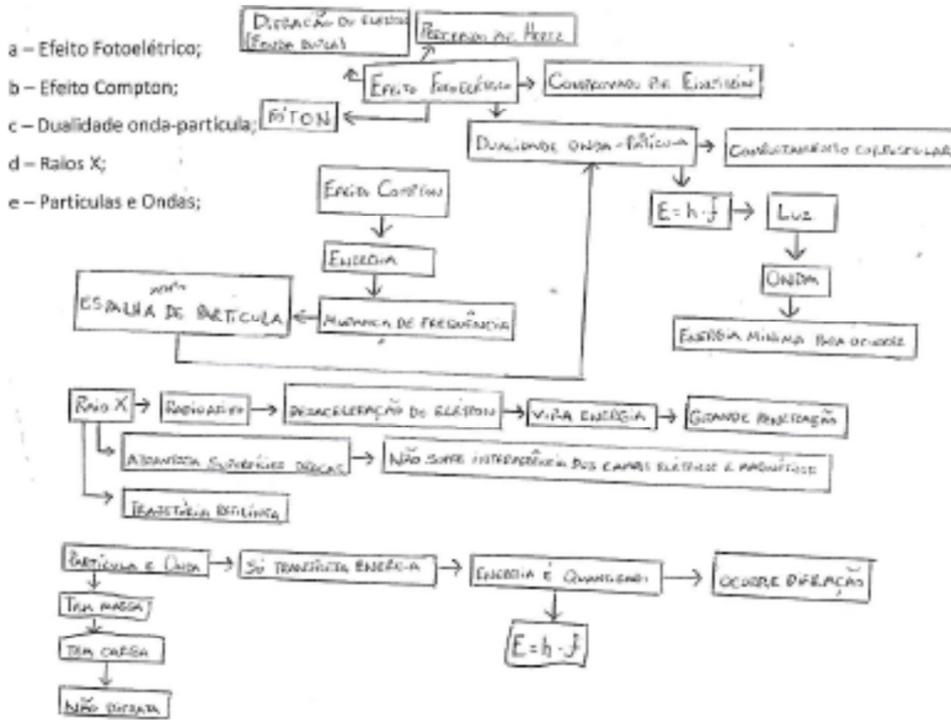


Figura 5.6.: Mapa Conceitual apresentado pelo estudante 3A11.

1 – Com base na leitura do Artigo "MAPAS CONCEITUAIS: AVALIANDO A COMPREENSÃO DOS ALUNOS SOBRE O EXPERIMENTO DO EFEITO FOTOELÉTRICO", construa um mapa conceitual utilizando 6 (seis) conceitos-chaves mapeados relacionados a seguir:

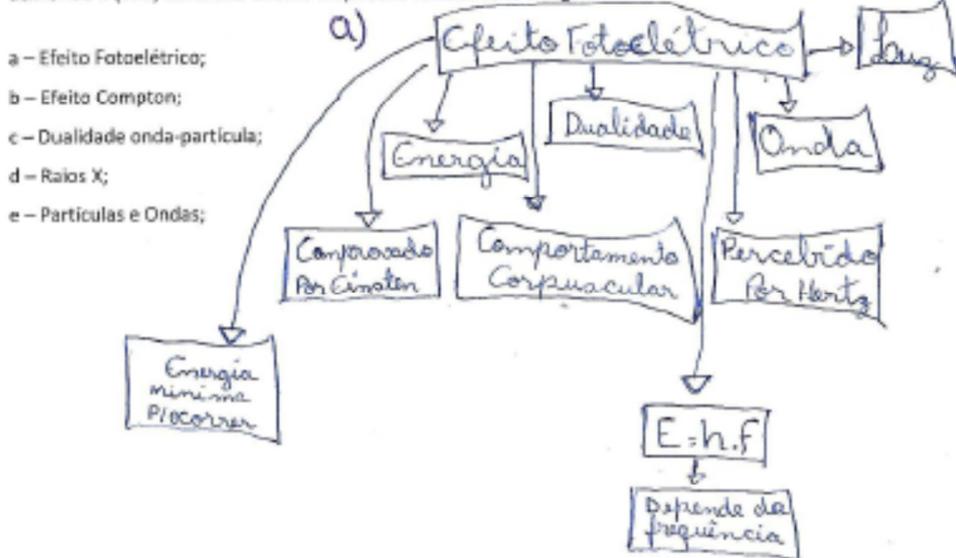


Figura 5.7.: Mapa Conceitual apresentado pelo estudante 3A12.

Ao observarmos a hierarquia conceitual apresentada pelos estudantes, procuramos identificar se os mesmos eram capazes de diferenciar os conceitos apresentados.

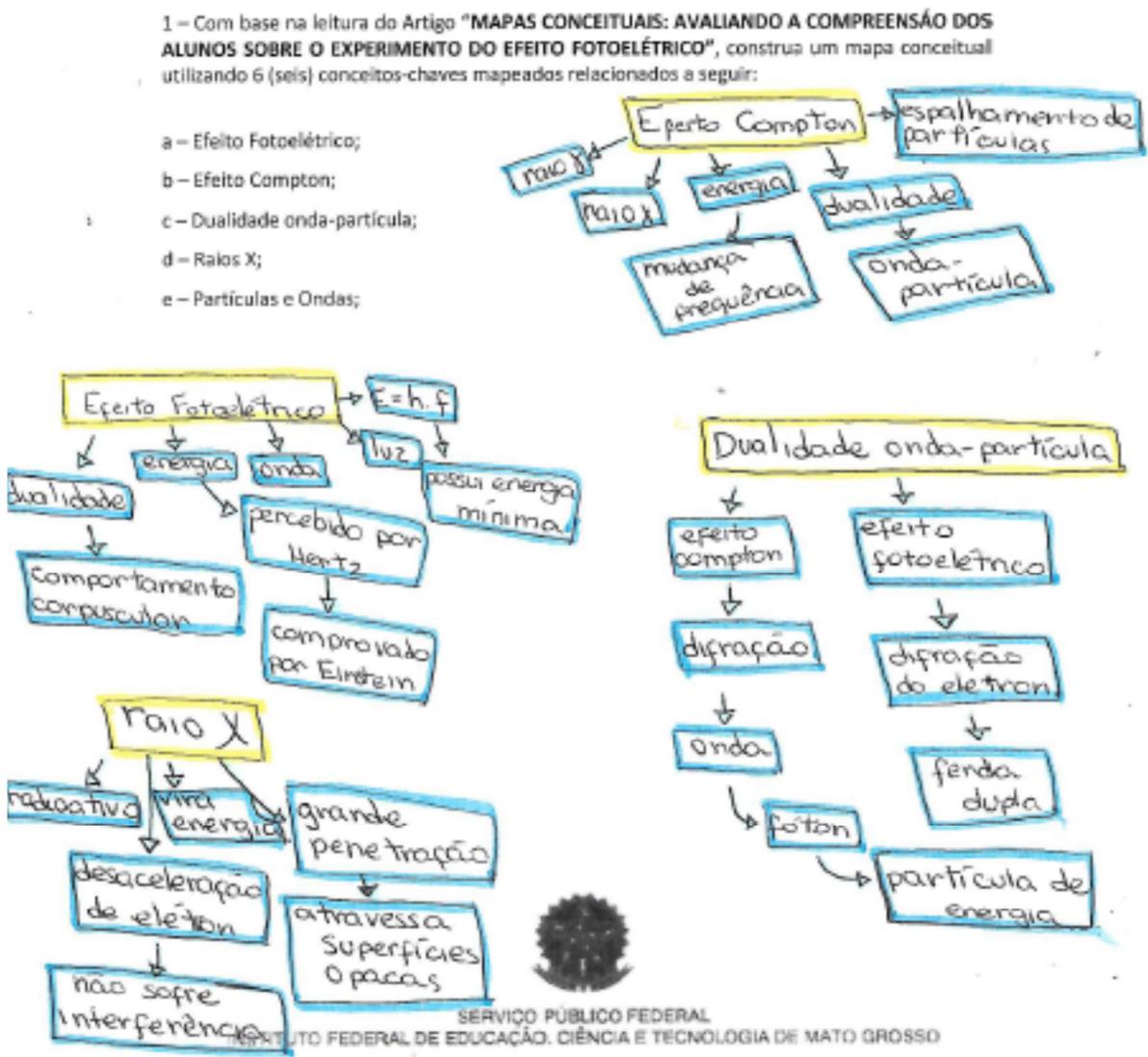


Figura 5.8.: Mapa Conceitual apresentado pelo estudante 3A22.

Os mapas dos estudantes 3A11 e 3A22, quanto aos aspectos de hierarquização, em sua totalidade, foram feitos de maneira que os conceitos fundamentais foram desmembrados até aos conceitos secundários, em concordância com temas discutidos anteriormente. O estudante 3A12 apresentou um mapa simples e pouco hierarquizado em relação aos demais,

sem conceitos integrados. Ao analisar este mapa, constatamos que o mesmo tende a assumir a forma de “guarda-chuva”, conforme propõe Moreira (2005), já que se parece muito com quadros-sinóticos de conceitos. Uma observação importante dos mapas que foram construídos foi em relação à grande diversidade de dados e interpretações resultantes da investigação feita pelos alunos. A Figura 5.9 mostra os alunos durante a construção dos mapas conceituais.



A Figura 5.9.: Alunos construindo mapas conceituais.

5.4 Análise da intervenção pedagógica

Nesta Etapa de Aplicação IV, os estudantes, após a visualização do vídeo, responderam o Questionário de visualização. Com a finalidade de avaliar a eficácia do vídeo como recurso didático motivador na resolução das questões, foram elaboradas sete questões. A questão a) desta etapa questiona: As partículas podem estar em dois ou mais lugares ao mesmo tempo? Dos 31 alunos que responderam o questionário, 22 responderam “sim” e nove responderam “não”.

Na questão b) foi perguntado: A dualidade onda-partícula ocorre porque a luz tem comportamento corpuscular apenas? Apenas um aluno respondeu “sim” e 30 alunos responderam “não”, demonstrando de forma satisfatória que realmente entenderam o fenômeno da dualidade onda-partícula. Na questão c) foi perguntado se existe algo mais rápido que a velocidade da luz. Um total de 26 alunos responderam “sim” e cinco alunos responderam “não”. Ainda persiste na concepção dos alunos a ideia de que existe algo mais rápido que a velocidade da luz. Na questão d) foi questionado se a Física Quântica é determinista. Um total de 22 alunos responderam corretamente que “não” e nove alunos responderam que “sim”. Na questão e) perguntou-se se a Física Quântica é holística, ou seja, se procura compreender os fenômenos na sua totalidade e globalidade. Um total de 24 alunos responderam corretamente que “sim” e sete alunos responderam que “não”.

Na questão f) foi questionado se na Física Quântica, o observador influencia o objeto observado e todos os alunos responderam corretamente que “sim”. O fato de todos os estudantes terem acertado esta questão mostra que realmente estão começando a compreender os segredos da Física Quântica. Na questão g) foi perguntado se é possível a transmissão instantânea de informação entre dois pontos do espaço, sem que haja troca de energia ou matéria e 19 alunos responderam “sim”, sendo 12 deles respondendo “não”. O que mostra que este conceito deve ser melhor trabalhado. Foi sugerido aos alunos que procurassem ler a respeito de um experimento realizado na Universidade de Genebra, onde os físicos conseguiram teletransportar o estado quântico de um fóton por 25 Km. A Figura 5.10 mostra os alunos respondendo o questionário durante a intervenção pedagógica.



Figura 5.10.: Alunos respondendo o questionário durante a intervenção pedagógica.

5.5 Análise da aplicação do produto educacional

Nesta Etapa de Aplicação V foi apresentado um questionário aos alunos como forma de avaliação do produto educacional apresentado anteriormente. Foram feitas diversas questões, dentre elas: a) Explique o fenômeno do feixe de elétrons sobre duas fendas; b) No efeito fotoelétrico ocorre emissão eletrônica. Em quais outros mecanismos também pode ocorrer emissão eletrônica?; c) Quais foram os resultados experimentais do efeito fotoelétrico obtidos por Philipp Lenard?; d) Quais os três resultados no efeito fotoelétrico que não podem ser explicados pela teoria ondulatória?; e) Explique o efeito Compton; f) Quais são as propriedades dos Raios-X?; g) Fale a respeito de Difração de Raios-X; h) Por quem foi dado o primeiro passo na direção de uma nova mecânica dos sistemas atômicos?; i) O trabalho realizado para remover um elétron da superfície do zinco é $5,8 \times 10^{-19}$ J. Determine a energia do elétron ejetado, sabendo que a frequência liminar do zinco para produzir o efeito fotoelétrico é de 9×10^{14} Hz; j) A energia obtida para o fotoelétron do exemplo anterior foi $E = 1,67 \times 10^{-20}$ J. Utilizando este resultado, calcule a velocidade com que o elétron

abandona a superfície do zinco, sabendo-se que sua massa é de $9,1 \times 10^{-31}$ Kg. A Figura 5.11 mostra os alunos durante a resolução do questionário de aplicação do produto e a Figura 5.12 mostra os alunos e o professor durante uma aula de aplicação do produto.



Figura.: 5.11 Alunos durante a resolução do questionário de aplicação do produto.



Figura.: 5.12 Alunos e o professor durante uma aula de aplicação do produto.

O resultado dos testes mostrou-se bastante satisfatório, pois a grande maioria dos alunos conseguiu responder os questionamentos, mostrando que de fato houve uma aprendizagem significativa. Essa avaliação, de certa forma tradicional, foi aplicada nesta última etapa de intervenção. As perguntas tem o objetivo de verificar se realmente os estudantes compreenderam os conteúdos estudados. Consideramos este instrumento de suma importância para verificação individual da eficiência da metodologia adotada no decorrer de nossa intervenção. Todas as questões foram elaboradas de tal forma que o aluno tivesse a chance de aplicar o que aprendeu ao longo de todas as etapas de aplicação anteriores. A avaliação foi composta de dez questões, sendo que os dois últimos problemas deveriam ser resolvidos analiticamente com o uso do formalismo matemático.

As Figuras 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16 mostram as avaliações feitas pelos estudantes 3A7, 3A11, 3A22, 3A23, respectivamente.

R. Proveu que o elétron que era matéria ao se passar por duas fendas se espalhou como a onda, ou seja, esse fenômeno prova a dualidade do elétron.

R. No efeito fotoelétrico ocorre uma emissão eletrônica. Podendo ocorrer de dois outros modos, sendo eles o efeito Compton e no efeito de Bohr.

R. I. A máxima energia do elétron depende da frequência da luz.

II. Pequena frequência, pequena energia cinética.

III. Aumento na intensidade, aumenta o número de elétrons ejetados (aumenta a corrente elétrica).

R. A energia cinética dos elétrons ejetados não depende da intensidade da luz, mas sim da sua frequência.

Na teoria ondulatória não deveria ter uma energia mínima para ocorrer o efeito fotoelétrico.

Deveria existir um intervalo de tempo entre a incidência da luz e a emissão de fotoelétrons.

R. Consiste numa onda de certa frequência (raio X) incidir em certa partícula, sendo convertida em outra onda de menor frequência e parte da energia desloca a partícula.

R. O raio X atravessa facilmente o material que a luz não atravessa; alto poder de penetração; propaga em linha reta; não sofre influência de campos elétricos e magnéticos; provoca ionização em substâncias fosforescentes; é radiativo.

R. Evidência através da difração que o raio X é uma onda eletromagnética.

R. Louis Victor de Broglie (1924).

$$R. E = T + E_c$$

$$h \cdot f = T + E_c$$

$$6,63 \times 10^{-34} \cdot 9 \times 10^{14} = 5,8 \times 10^{-19} + E_c$$

$$59,67 \times 10^{-20} = 5,8 \times 10^{-19} + E_c$$

$$E_c = 1,67 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$R. E = \frac{m \cdot v^2}{2} \rightarrow 1,67 \times 10^{-20} = \frac{9,1 \times 10^{-31} \cdot v^2}{2} \rightarrow 3,34 \times 10^{-20} = 9,1 \times 10^{-31} \cdot v^2 \rightarrow v = 1,92 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$v = \frac{3,34 \times 10^{-20}}{9,1 \times 10^{-31}}$$

$$v^2 = 3,67 \times 10^{10}$$

$$v = 1,92 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Figura 5.13.: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A7.

J- O FENÔMENO DO FREIO DE ELÉTRONS CRIE DUAS FREQÜÊNCIAS, SENDO PARA PROVAR QUE OS ELÉTRONS REALM. AGIR COMO ONDAS.

3A11

b- SIM. O EFEITO COMPTON É TAMBÉM O ATOMO DE DHR.

C- I. A MÁXIMA ENERGIA DO ELÉTRON DEPEND. DA FREQÜÊNCIA DA LUZ.

II. PEQUENA FREQÜÊNCIA $\downarrow f$, PEQUENA ENERGIA CINÉTICA $\downarrow E_c$

III. AUMENTO NA INTENSIDADE, AUMENTA O N° DE ELÉTRONS EJETADOS

D- I. A ENERGIA CINÉTICA DOS ELÉTRONS DESACELERADOS NÃO DEPENDE DA INTENSIDADE DA LUZ, MAS SIM, DA SUA FREQÜÊNCIA.

II. NA TEORIA ONDULATÓRIA NÃO DEVERIA TER UMA ENERGIA MÍNIMA PARA OCORRER O EFEITO FOTOELÉTRICO.

III. DEVERIA EXISTIR UM INTERVALO DE TEMPO ENTRE A INCIDÊNCIA DA LUZ E A EMISSÃO DE FOTOELÉTRONS.

E- CONSISTE NUMA ONDA (RAIO X, RAIO γ), INCIDIR EM CERTA PARTÍCULA, SENDO CONVERTIDA EM OUTRA ONDA DE MENOR FREQÜÊNCIA E PARTE DA ENERGIA RECALOR A PARTÍCULA.

F- ATRAVESSA FACILMENTE O MATERIAL QUE A LUZ NÃO ATRAVESSA. ALTO PODER DE PENETRAÇÃO; PROPAGA EM LINHA RETA; NÃO SOFRE INFLUÊNCIA DE CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO; PROVOCA INCANDESCÊNCIA EM SÓLIDOS ESFERICAMENTE; É RADIAÇÃO

G- EVIDENCIA ATRAVÉS DA DIFRAÇÃO QUE O RAIO X É UMA ONDA MAGNÉTICA, ELECTROMAGNÉTICA.

H- LOUIS VITO DE BROGLIE (1924)

4- $E = hf$

$$i - E = \mathcal{L} + E_c \quad 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 5,8 \cdot 10^{-18} + E_c$$

$$h \cdot f = \mathcal{L} + E_c \quad \rightarrow \quad \boxed{E_c = 1,67 \cdot 10^{-20} \text{ J}}$$

$$J - E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$1,67 \cdot 10^{-20} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2}{2}$$

$$3,34 \cdot 10^{-20} = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{3,34 \cdot 10^{-20}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \rightarrow v^2 = 3,67 \cdot 10^{10} \rightarrow \boxed{v = 1,92 \cdot 10^5 \text{ m/s}}$$

Figura 5.14.: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A11.

1. Já para provar a dualidade do elétron que se comporta como onda.

2. Sim; no efeito Compton, o átomo de Behe

3A22

$$3. E = h \cdot f \\ E = T + E_c$$

I. A máxima energia do elétron depende da frequência da luz.

II. Pequena frequência = pequena energia cinética
 $\downarrow f \downarrow E_c$

III. Aumento na intensidade, aumenta o nº de elétrons ejetados (aumenta a corrente elétrica).

4. A energia cinética dos elétrons ejetados não depende da intensidade da luz, mas sim da sua frequência.

Na teoria ondulatória não deveria ter uma energia mínima para ocorrer o efeito fotoelétrico.

Deveria existir um intervalo de tempo entre a incidência da luz e a emissão de fotoelétrons.

5. consiste numa onda de certa frequência (ondas x e y) incidir em certa partícula sendo convertida em outra onda de menor frequência e parte da energia entregue a partícula.

6. Atravessa facilmente o material que a luz não atravessa; alto poder de penetração; propaga em linha reta; não sofre influência de campos elétricos e magnéticos; provoca ionização em substâncias poroso e é radiotóxico.

7. Evidência através da difração que o raio x é uma onda eletromagnética.

8. Klaus Vito de Broglie (1924)

$$9. E = T + E_c$$

$$c \cdot f = T + E_c$$

$$6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 9 \cdot 10^{15} = 5,8 \cdot 10^{-19} + E_c$$

$$59,67 \cdot 10^{-20} = 5,8 \cdot 10^{-19} + E_c$$

$$E_c = 1,67 \cdot 10^{-20}$$

$$10. E = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$1,67 \cdot 10^{-20} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2}{2} \rightarrow 3,34 \cdot 10^{-20} = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{3,34 \cdot 10^{-20}}{9,1 \cdot 10^{-31}} = 3,67 \cdot 10^{10} \text{ m/s} \rightarrow v = 1,92 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

ETAPA DE APLICAÇÃO V

Figura 5.15.: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A22.

- a) o elétron pode se comportar como onda.
- b) sim. Também ocorre no efeito Compton e Bohr.
- c) a máxima λ energia do elétron depende da frequência da luz.
 - pequena frequência, pequena energia cinética.
 - aumento na intensidade, aumenta o n.º de elétrons ejetados.
- d) a energia cinética dos elétrons ejetados não depende da intensidade da luz, mas sim da sua frequência.
 - matéria ondulatória não deveria ter uma energia mínima para ocorrer o efeito fotoelétrico.
 - deveria existir um intervalo de tempo entre a incidência da luz e a emissão de fotoelétrons.
- e) consiste numa onda de curta frequência (RX/RG) incidir em certa partícula sendo convertida em outra onda de menor frequência e parte da energia desloca a partícula.
- f) atravessa facilmente material que a luz não atravessa.
 - alto poder de penetração
 - propaga em linha reta
 - não sofre influência de campo elétrico e magnético
 - provoca incandescência em substância radiante
- g) evidência através da difração que o raio X é uma onda eletromagnética
- h) Louis Vito de Broglie (1924)

i) $E = T + E_c$

$h \cdot f = T + E_c$

$663 \cdot 10^{-34} \cdot 9 \cdot 10^{14} = 5,8 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$

$59,67 \cdot 10^{-20} = 5,8 \cdot 10^{-19} + E_c$

$E_c = 1,67 \cdot 10^{-20}$

j) $E = \frac{mv^2}{2}$

$1,67 \cdot 10^{-20} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2}{2}$

$3,34 \cdot 10^{-20} = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot v^2$

$v^2 = \frac{3,34 \cdot 10^{-20}}{9,1 \cdot 10^{-31}}$

$v^2 = 3,6710^{10}$

$v = 1,9210^5 \text{ m/s}$

Figura 5.16.: Etapa de Avaliação V realizada pelo estudante 3A23.

5.6 Avaliação da unidade de ensino aproximadamente conceitual- material didático alternativo

Após a finalização da aplicação das cinco etapas anteriores, foi feita uma última pergunta: 1) A partir da aplicação do material didático sobre Física Quântica, fale se o produto educacional foi útil na obtenção de conhecimentos potencialmente significativos e justifique sua resposta.

ESTUDANTE - 3A3

Sim, pois deu de entender um pouco de física quântica um pouco melhor e como ela tem definições diferentes da física normal.

ESTUDANTE - 3A2

Sim, pois podemos adquirir esse conhecimento de física quântica, abrindo mais o campo de física a qual não é trabalhada em sala.

ESTUDANTE - 3A25

Com toda certeza foi muito útil, abrange ainda mais nosso conhecimento e a forma de 3A25 imaginar o comportamento de onda, partículas e elétrons. Seria importante estudar no mesmo nível. Parabéns!

ESTUDANTE - 3A12

Sim. O produto educacional foi muito bem trabalhado, ajudando no conhecimento sobre a física quântica.

ESTUDANTE - 3A6

Sim! Porque através dele aprendo sobre dualidade, a qual me deixou claro sobre como um átomo pode se comportar as vezes como matéria e como onda, e me mostrando também sobre algo umais rapido que a velocidade de luz, ou seja, me disponibilizando conhecimentos antes não vistos.

Observa-se que nenhum dos estudantes considerou o produto educacional inútil para obtenção de conhecimentos potencialmente significativos. Foram obtidos resultados completamente satisfatórios após a aplicação do produto educacional, porém não podemos deixar de oferecer aulas tradicionais aos alunos. Devemos procurar aplicar novas metodologias com a finalidade de sempre melhorar a aprendizagem.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Nesta parte da dissertação são apresentadas as conclusões e perspectivas da proposta realizada, centrada no desenvolvimento do material didático alternativo de Física Quântica para auxiliar alunos e professores na aprendizagem e abordagem de conteúdos de Teoria Quântica e, dessa forma, contribuir para a melhoria da qualidade da aprendizagem neste assunto.

Este trabalho teve como objetivo criar uma proposta de ensino de Introdução à Teoria Quântica com o uso de um material didático alternativo. Utilizamos as Teorias de Piaget, Vigostky e David Ausubel como referenciais teóricos, bem como procedimentos didáticos já consagrados e desenvolvidos por Marco Antônio Moreira, na forma de vídeos, mapas conceituais e questionamentos. Apresentamos e aplicamos seis sequências didáticas, divididas em Etapas de Aplicação de I a VI, contemplando alguns dos principais conceitos de Teoria Quântica para o nível médio, dentre eles: Elétrons e Quanta, o efeito fotoelétrico, o efeito Compton, Raios X, Difração de Raios X, partículas e Ondas. Houve, no início do processo, certa resistência oferecida por parte dos alunos com a metodologia totalmente diversificada. Vários disseram que o método utilizado iria atrasar o conteúdo a ser cumprido e que seria melhor ir “direto ao assunto” para não perder tempo. Desta forma, continuaríamos com os métodos tradicionais de aprendizagem.

No decorrer dos questionamentos iniciais detectamos diversas dificuldades dos alunos, além das que estávamos acostumados a detectar, em relação ao entendimento dos aspectos conceituais do conteúdo estudado. Os alunos tinham uma grande dificuldade para redigir as palavras e conceitos, bem como precário vocabulário e sérios problemas para produzir textos. As palavras como corpúsculo, fóton e dualidade nunca fizeram parte do vocabulário dos estudantes. Estes conceitos são vistos, se possível, somente no final do 3º ano do EM. Porém, de uma maneira geral, a maioria conseguiu responder os questionamentos satisfatoriamente.

Como sugestões para trabalhos futuros, destacamos a importância de explorar mais os conteúdos de Teoria Quântica indo mais além na discussão de outros conceitos, de tal forma que possamos auxiliar professores e estudantes no ensino e na aprendizagem de Física Quântica.

Propomos também a realização de investigação que permita compreender cada vez mais o papel da inserção de tópicos de Física Quântica no ensino médio. Realização de estudos feitos por outros pesquisadores que comparem os resultados obtidos nesta metodologia com os de outras metodologias em assuntos que envolvam Teoria Quântica.

A partir do estudo realizado, podemos conhecer e compreender melhor as vantagens e desvantagens da utilização de nossa metodologia para o ensino e a aprendizagem, bem como obtivemos informações com mais detalhes com relação às reais potencialidades nos processos de ensino e de aprendizagem, cumprindo, desta forma, o objetivo geral e os objetivos específicos citados anteriormente.

Quanto ao questionamento feito no Capítulo 1: “Quais as potencialidades pedagógicas de se desenvolver um material didático conceitual no ensino médio, como ferramenta de apoio ao ensino (professor) e aprendizagem (aluno) de FQ?”, pode-se dizer que do ponto de vista pedagógico, as potencialidades alcançadas foram inovadoras, no contexto educacional mato-grossense com grandes contrastes sociais, econômicos e culturais, para o processo de ensino e de aprendizagem qualitativa, significativa e contextualizada, com estratégias que foram significativamente eficazes para o ensino de Física Quântica em nível médio. Buscamos assim, apresentar aos professores, licenciados e estudiosos da área de ensino de Física, uma proposta de metodologia pedagógica clara para seus alunos, estimulando-os a desenvolver novas aptidões a partir de suas potencialidades e cotidianos.

Nossa investigação permitiu concluir que, a princípio, o ensino tradicional não poderá ser abandonado ou trocado pelo ensino dividido em etapas, como fizemos aqui, dado o grande número de conteúdos que devem ser trabalhados durante o ano letivo, e bem como a dificuldade apresentada pelos

alunos. O uso de recursos didáticos de ensino e aprendizagem da Física deve ser combinado com o ensino tradicional, devido à complementariedade entre ambos. Como perspectivas de trabalhos futuros, continuaremos com a produção de materiais didáticos que explorem os demais conceitos relacionados à Física Quântica, bem como demais áreas da Física.

Referências

AUSUBEL, D. P., *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva* (1a Edição). Lisboa: Plátano Edições Técnicas, Ltda, 2000.

AINA, J. K., Effective Teaching and Learning in Science Education through Information and Communication Technology [ICT]. *IOSR Journal of Research and Method in Education*, 2(5), 43-47, 2013.

ALMEIDA, F.; SOUZA, A. R.; URENDA, P.V., Mapas Conceituais: Avaliando a compreensão dos alunos sobre o experimento do efeito fotoelétrico. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2004.

BARRA, A. S. B., Uma análise do conceito de zona de desenvolvimento proximal. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 12(1), 765-774, 2014.

BARROS, E. M. D., Aproximações entre o funcionamento da Metodologia das Sequências Didáticas e o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal. *Calidoscópio*, 11(1), 76-89, 2013.

COELHO, L., & PISONI, S. Vygotsky: sua teoria e influência na educação. *Revista Modelos-FACOS/CNE C Osório*. 2(1), 144-152, 2012.

CLERMONT, A. N. P., & BELL, N., Learning Processes in Social and Instructional Interactions. In Ken Richardson e Sue Sheldon (Ed.), *Cognitive Development to Adolescence* (pp. 272 - 278). UK: Open University, 1988.

CASTAÑON, G. A., Construtivismo e ciências humanas. *Ciências e Cognição*. 05,36-49, 2005.

COSSA, R. E. C. & COSSA, E. F. R., Avaliando o uso da abordagem construtivista nos materiais impressos de física para o programa do ensino secundário à distância. *Revista Científica da UEM: Série Ciências da Educação*, 1(1), 77-93, 2014.

COHEN-TANNOUJJI, C. , Diu, B. , Laloë, F., *Quantum Mechanics*, Vol. I, John Wiley & Sons, 1977.

COCA, D. M., The influence of teaching methodologies in the learning of thermodynamics in secondary education. *Journal of Baltic Science Education*, 12(1), 2013.

CACHAPUZ, A. F., A procura da excelência na aprendizagem. *Revista Série-Estudos*, (10), 9-26, 2013.

DEVRIES, R., Vygotsky, Piaget, and education: A reciprocal assimilation of theories and educational practices. *New Ideas in Psychology*, 18(2), 187-213, 2000.

DIRETRIZES CURRICULARES NACIONAIS PARA A EDUCAÇÃO BÁSICA. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/docman/julho-2013-pdf/13677-diretrizes-educacao-basica-2013-pdf/file>>. Acesso em: 27 jul 2016.

EISBERG, R.M., Fundamentos da Física Moderna. Guanabara Dois. São Paulo, 1979.

FREIRE, P.T.C., Notas de Aula de Mecânica Quântica, 1996.

FEYNMAN, R., Física, Mecânica Quântica, Vol. III, Addison-Wesley Iberoamericano, 1987.

GINSBURG, H.P. Piaget and Education: The Contributions and Limits of Genetic Epistemology. In Ken Richardson e Sue Sheldon (Ed.), *Cognitive Development to Adolescence* (pp. 243 - 259). UK: Open University, 1988.

GALLIMORE, R., & THARP, R. O pensamento educativo na sociedade: ensino, escolarização e discurso escrito. In Luis C. Moll (Ed.), *Vygotsky e a educação: implicações pedagógicas da psicologia sócio-histórica* (pp. 171 - 199). Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GRIFFITHS, D.J., Introduction to Quantum Mechanics, Prentice-Hall, 1995.

GASIOROWICZ, S., Física Quântica, Guanabara Dois, 1979, RJ.

HUITT, W., & HUMMEL, J. Piaget's theory of cognitive development. *Educational Psychology Interactive*. Valdosta, GA: Valdosta State University, 2003.

IFMT: APRESENTAÇÃO E HISTÓRICO. (Disponível em: <<http://ifmt.edu.br/conteudo/pagina/apresentacao-e-historico/>>). Acesso em: 27 jul 2016.

LOURENÇO, O. Piaget and Vygotsky: Many resemblances, and a crucial difference. *New Ideas in Psychology*, 30(3), 281-295, 2012.

MATRIZ CURRICULAR DO IFMT - BELA VISTA. Disponível em: <<http://cea.blv.ifmt.edu.br/conteudo/pagina/matriz-curricular/>>. Acesso em: 27 jul 2016.

MARQUES, R., A pedagogia construtivista de Lev Vygotsky (1896-1934), 2007.

MAGALHÃES, D. R., & Carpinteiro, O. A. S. Um modelo computacional de avaliação de alunos. In *World Congresso on Engineering and Tecnology Education. São Paulo, 2004.*

MORAN, J. M. Os novos espaços de atuação do educador com as tecnologias. In Romanowski et al., *Conhecimento local e conhecimento universal: diversidade, mídias e tecnologias na educação.* Curitiba: Champagnat, 2004.

MENDONÇA, M. I. R. *Developing teaching and learning in Mozambican higher education: a study of the pedagogical development process at Eduardo Mondlane University.* Doctoral dissertation in Educational work, Umeå University, 2015.

MOREIRA, M. A., Aprendizaje significativo crítico. *Indivisa: Boletín de estudios e investigación*, (6), 83-102, 2005.

NOVAK, J. D., Meaningful learning: The essential fator for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science education*, 86(4), 548-571, 2002.

ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA A EDUCAÇÃO BÁSICA DE MATO GROSSO. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/95671>>. Acesso em: 27 jul 2016.

PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 27 jul 2016.

PALANGANA, I. C. *Desenvolvimento e aprendizagem em Piaget e Vygotsky a relevância do social.* (5ª Edição). São Paulo: Grupo Editorial Summus, 2001.

PEREIRA, K., PAVANATI, I., JUNIOR, J. S., SUSUKI, V., MAIA, L., & FIALHO, F. P. Uma visão articulada das teorias de Piaget e Vygotsky e suas implicações na educação, 2007.

PIAGET, J. *Seis Estudos da Psicologia.* Geneve: Editions Gonthier S.A, 1964.

PELIZZARI, A., Kriegl, M. D. L., Baron, M. P., Finck, N. T. L., & Dorocinski, S. I. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. *Revista PEC*, 2(1), 37-42, 2002.

ROBINETT, R. W., *Quantum Mechanics: Classical results, modern systems and visualized examples,* Oxford University Press, 1997.

SEBER, G. M. *Piaget: O diálogo com a criança e o desenvolvimento do raciocínio.* São Paulo: Editora Scipione, 1997.

SEPLAN. Disponível em: <<http://www.seplan.mt.gov.br/-/5662306-orcamento-de-2017-e-aprovado-pela-assembleia-legislativa>>. Acesso em: 12 jan 2017.

SHANKAR, R., Principles of Quantum Mechanics, 2ª edição, Plenum Press, 1994.

TUDGE, J., Vygotsky, a zona de desenvolvimento proximal e a colaboração entre pares: implicações para a prática em sala de aula. In Luis C. Moll (Ed.), *Vygotsky e a educação: implicações pedagógicas da psicologia sócio-histórica* (pp. 151 – 168). Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 1990.

TABER, K.S., Constructivism as educational theory: Contingency in learning, and optimally guided instruction. In HASSASKHAH, J. (ed.), *Educational Theory*, (pp. 39 -61). New York: Nova, 2011.

TAVARES, R., Aprendizagem significativa. *Revista conceitos*, 55(10), 2004.

TAVARES, R., Aprendizagem significativa, codificação dual e objetos de aprendizagem. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 18(02), 2010.

VALADARES, J., & FONSECA, F., Uma estratégia construtivista e investigativa para o ensino da ótica. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 4(3), 74-85, 2004.

VALADARES, J., Uma teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review*, Porto Alegre, 1(1), 36-57, 2011.