

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS
NÍVEL MESTRADO

**UTILIZANDO O CICLO DA EXPERIÊNCIA DE KELLY PARA INVESTIGAR A
COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO DUAL DA LUZ**

Nélio Oliveira Ferreira

Recife, 30 de agosto de 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS
NÍVEL MESTRADO

**UTILIZANDO O CICLO DA EXPERIÊNCIA DE KELLY PARA INVESTIGAR A
COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO DUAL DA LUZ**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências – Nível de Mestrado, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.

Mestrando: Nélio Oliveira Ferreira

Orientador: Ernande Barbosa da Costa, Dr.

Co-orientadora: Heloísa Flora Brasil Nóbrega Bastos, Dra.

Recife, agosto de 2005

**UTILIZANDO O CICLO DA EXPERIÊNCIA DE KELLY PARA INVESTIGAR A
COMPREENSÃO DO COMPORTAMENTO DUAL DA LUZ**

Nélio Oliveira Ferreira

Banca Examinadora:

Presidente: _____

Prof. Ernande Barbosa da Costa, Dr. (UFRPE)

1º Examinador: _____

Prof. Ernesto Carneiro Pessoa Raposo, Pós-Dr. (UFPE)

2º Examinador: _____

Prof. Alexandro Cardoso Tenório, Dr. (UFRPE)

3ª Examinadora: _____

Profa. Heloísa Flora Brasil Nóbrega Bastos, Dra. (UFRPE)

Ficha catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

F383u Ferreira, Nélio Oliveira
Utilizando o ciclo da experiência de Kelly para investigar a compreensão do comportamento dual da luz / Nélio Oliveira Ferreira. -- 2005.
150 f. : il.

Orientador: Ernande Barbosa da Costa.
Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Educação.
Inclui bibliografia, anexo e apêndice.

CDD 371.3

1. Construto
2. Dualidade
3. Ciclo da experiência
4. Efeito fotoelétrico
5. Física – Estudo e ensino
 - I. Costa, Ernande Barbosa da
 - II. Título

DEDICATÓRIA

A Marcilio, o meu querido pai, que, com sua amizade, carinho e amor, sempre esteve ao meu lado me ajudando a superar os obstáculos mais difíceis e me ensinando a respeitar as pessoas, a ter humildade e a ser perseverante. E a Válter (in memoriam), meu tio e eterno amigo, companheiro de todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus que sempre esteve comigo em todos os momentos, sobretudo, nas horas de maior angústia e maior aflição.

Ao prof. Ernande Barbosa, pela paciência, serenidade e competência em sua orientação.

À profa. Heloísa Bastos, pela sabedoria, tranqüilidade e exigência na orientação desta pesquisa. Por ter confiado em mim e acreditado em minha capacidade.

Ao prof. Alexandro Tenório, pelas contribuições para esta dissertação e para minha formação.

Ao prof. Ernesto Raposo, por sempre se mostrar disponível a contribuir na resolução dos problemas do Ensino Médio, sobretudo, em relação a esta dissertação.

Aos meus mestres que me guiaram até aqui e me incentivaram na busca pelo conhecimento e aos funcionários deste mestrado que sempre se mostraram disponíveis.

Ao Colégio Damas, por me fazer cidadão e pela compreensão e paciência, ao Colégio Marista São Luís e ao Colégio Nossa Senhora do Carmo, por me respeitar e acreditar no meu trabalho e a todos que fazem o BJI Colégio e Curso, pelo apoio e incentivo.

Aos colegas que fazem o mestrado, pelo relacionamento maravilhoso. Em especial, a Suzane, Gizella, Priscila, Acácia, Geni e Isabel, que sempre me apoiaram e se mostraram amigas verdadeiras.

Aos amigos professores Eduardo, Írio, Marcelo e João, sem os quais não teria conseguido chegar até aqui, e, em particular, ao Prof. Jomar, meu primeiro e eterno mestre, que me proporcionou as primeiras oportunidades.

Ao Prof. Rogério Porto em quem me inspiro sempre para ser, cada vez mais, um profissional humilde, justo, tranqüilo, sereno e de grande sabedoria.

Finalmente, à minha família, que soube suportar a minha ausência com muita paciência, carinho e amor. Em especial, a minha filha, Bianca, a inspiração da minha vida.

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de investigar o comportamento dual da luz devido a implementação de uma nova abordagem baseada na Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly, mais especificamente, no Ciclo da Experiência. As cinco etapas desse ciclo (antecipação, investimento, encontro, validação e revisão construtiva) foram distribuídas em três aulas durante as quais foram acompanhadas as concepções dos alunos, desde as iniciais, detectadas através de um pré-teste e da produção de um cartaz, até as concepções mantidas ao término da intervenção didática, através de um pós-teste e da produção de um novo cartaz. Foram investigados os conceitos de onda, partícula, frequência e comprimento de onda, além de fotoelétrons, potencial de corte e frequência de corte com o intuito de retratar o fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Na produção dos cartazes, as respostas consideradas aceitáveis passaram de 64% para 100% no que diz respeito ao conceito de onda. Em relação ao conceito de partícula na produção dos cartazes, os resultados foram ainda mais relevantes, nenhuma resposta foi aceita, inicialmente, contra a aceitação de todas as respostas após a aplicação do ciclo. Estes resultados indicaram a clareza que os alunos passaram a ter ao distinguir onda e partícula, o que foi complementado com a compreensão de conceitos essenciais relacionados com o fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Assim, os alunos passaram a compreender o comportamento corpuscular da luz, no referido fenômeno, e ondulatório, em outros fenômenos (reflexão, refração, difração e interferência), como se pôde verificar nos resultados do pré-teste e pós-teste. Em relação aos conceitos de comprimento de onda, frequência de corte e fotoelétrons, todas as respostas atingiram níveis aceitáveis. Além disso, as respostas a respeito dos conceitos de quantum e fóton atingiram 91% dos níveis desejáveis, frequência, 82%, e potencial de corte, 64%. Como todos os dados analisados atingiram níveis acima de 60% daqueles desejáveis, acredita-se que a utilização do Ciclo da Experiência de Kelly, como ferramenta metodológica, apresentou-se com bastante eficácia.

ABSTRACT

This article aims to investigate the dual behavior of the light as a result of implementation of a new approach based on the Personal Constructs Theory by George Kelly, specifically, in the Experience Cycle. The five stages of this cycle (anticipation, investment, encounter, validation and constructive revision) had been distributed in three classes during which the conceptions by the students had been followed from the beginning detected through a post-test and through a production of a new poster. There had been investigated the conceptions of wave, particle, frequency and wavelength, as well as the photoelectrons, cutoff potential and cutoff frequency, aiming to register the Photoelectric Effect phenomenon. During the poster production, the acceptable answers had aroused from 64% to 100% concerning the wave definition. Concerning the particle, the results had been even more relevant; no answer was considered true at first, but after the usage of the cycle, they had been all accepted. These results had indicated how clearly the students could then distinguish wave from particle, which had been complemented by the comprehension of essential conceptions to the Photoelectric Effect phenomenon. Therefore, the students had started to understand the corpuscular behavior of the light, in the cited phenomenon, and wavy, in other phenomenon (reflection, refraction, diffraction and interference), as it can be comproved by comparison of the pre-test and the post-test. Concerning the wavelength conceptions, cutoff frequency and photoelectrons, all the answers had became acceptable. Besides, the answers concerning quantum and photon conceptions had cached 91% of the desirable levels frequency had cached 81% and cutoff potential, 64%. Considering that 60% of the answers analyzed were acceptable, it is believed that the usage of Kelly's Experience Cycle as a methodological tool is extremely effective.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTO	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
SUMÁRIO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE QUADROS E TABELAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE LUZ.....	19
3.1 A Luz até o Século XIX – Inicialmente partícula, depois, definitivamente, onda.....	19
3.2 As Experiências de Heinrich Hertz e Philip Lenard.....	22
3.3 As Explicações de Einstein e a Controvérsia na Comunidade Científica.....	24
3.4 A Solução dos Problemas da Intensidade, da Freqüência e do Retardo do Tempo... 28	
3. A TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS.....	31
3.1 A Matéria-Prima do Professor.....	31
3.2 Introdução a uma Teoria da Personalidade.....	36
3.3 A Vida de George Kelly.....	38
3.4 As Bases da Teoria dos Construtos Pessoais.....	39
3.5 O Postulado Fundamental e o Ciclo da Experiência.....	40
3.6 Os Corolários.....	46
4. INVESTIGANDO A PROPOSTA DE ENSINO.....	55
3.1 Aplicação da Proposta.....	56
3.2 Análise dos Resultados.....	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
3.1 A Produção nos Cartazes.....	74

3.2 Análise dos Pré-Testes e Pós-Testes.....	78
3.3 Considerações Finais.....	99
6. CONCLUSÕES.....	104
REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICES.....	110
APÊNDICE A – PLANO DE AULA 1.....	111
APÊNDICE B – PLANO DE AULA 2.....	112
APÊNDICE C – PLANO DE AULA 3.....	113
APÊNDICE D – MODELO DO PRÉ-TESTE E DO PÓS-TESTE.....	114
APÊNDICE E – REFERÊNCIAS USADAS NO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE.....	119
APÊNDICE F – ARTIGO.....	120
APÊNDICE G – NORMAS PARA PUBLICAÇÃO NO CBEF.....	139
ANEXOS.....	140
<i>ANEXO A - Programa de Física do colégio A.....</i>	<i>141</i>
<i>ANEXO B - Programa de Física do colégio B.....</i>	<i>142</i>
ANEXO C – Texto 1 de Yoav Ben-Dov.....	143
ANEXO D – Texto 2 de Yoav Ben-Dov.....	148

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Modelo de Huygens para reflexão da luz	20
Figura 02 – Experiência da Fenda Dupla (a) e ondas mecânicas interferindo (b).....	21
Figura 03 – Circuito do Efeito Fotoelétrico.....	23
Figura 04 – Gráfico da frequência de corte.....	29
Figura 05 – As cinco fases do Ciclo da Experiência.....	45
Figura 06 – Gráfico de desempenho, no cartaz, em relação ao conceito de onda.....	75
Figura 07 – Gráfico de desempenho, no cartaz, em relação ao conceito de partícula.....	77
Figura 08 – Gráfico do número de eventos experimentados por cada aluno.....	79
Figura 09 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de frequência.....	82
Figura 10 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação a comprimento de onda	84
Figura 11 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de partícula.....	87
Figura 12 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de fóton.....	89
Figura 13 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de fotoelétrons...	92
Figura 14 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao potencial de corte.....	94
Figura 15 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação à frequência de corte.....	96
Figura 16 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao quantum de energia.....	98

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01 – Corolários da Teoria dos Construtos Pessoais.....	47
Quadro 02 – Descrição e avaliação das categorias dos cartazes.....	74
Quadro 03 – Descrição e avaliação das categorias sobre frequência nos testes.....	80
Quadro 04 – Descrição e avaliação das categorias sobre comprimento de onda (testes)....	83
Quadro 05 – Descrição e avaliação das categorias sobre partícula (testes).....	85
Quadro 06 – Descrição e avaliação das categorias sobre fóton (testes).....	88
Quadro 07 – Descrição e avaliação das categorias sobre fotoelétron (testes).....	90
Quadro 08 – Descrição e avaliação das categorias sobre potencial de corte (testes).....	93
Quadro 09 – Descrição e avaliação das categorias sobre frequência de corte (testes).....	95
Quadro 10 – Descrição e avaliação das categorias sobre quantum de energia (testes).....	97
Tabela 01 – Categorização da produção nos cartazes.....	75
Tabela 02 – Categorização da Pergunta 1.....	79
Tabela 03 – Categorização da Pergunta 2 – Parte 1.....	81
Tabela 04 – Categorização da Pergunta 2 – Parte 2.....	83
Tabela 05 – Categorização da Pergunta 3.....	86
Tabela 06 – Categorização da Pergunta 4.....	88
Tabela 07 – Categorização da Pergunta 5.....	91
Tabela 08 – Categorização da Pergunta 7 – Parte 1.....	93
Tabela 09 – Categorização da Pergunta 7 – Parte 2.....	95
Tabela 10 – Categorização da Pergunta 8.....	97

1. INTRODUÇÃO

A educação no Brasil passa por um processo contínuo e essencial de transformação. O Ensino de Física tem dado sua contribuição, sobretudo, em relação à reformulação curricular. Apesar de não se estabelecer ainda uma ampla discussão a respeito desta reformulação tão necessária para uma melhor qualidade do ensino, a introdução de novos conteúdos têm o intuito de aproximar o aluno do cotidiano repleto de tecnologia. Entender os processos que levam as pessoas a construir o conhecimento tem se mostrado de fundamental importância na busca da desmistificação dos conteúdos de Física. Contudo, há uma série de dificuldades ocasionadas pelo sistema educacional brasileiro que tentam ser superadas através de uma estrutura pedagógica de qualidade. Tarefa árdua, mas importante para a formação do jovem brasileiro.

Trabalhar com educação é estar disposto a reformular e pesquisar não somente o processo de ensino-aprendizagem, mas, além disso, reestruturar o processo educativo. No Brasil, são grandes as dificuldades de se fazer educação devido, principalmente, a falta de recursos condizentes com as necessidades. Projetos novos são elaborados como “Brasil Alfabetizado” ou “Uma escola para todos” ou ainda “Universidade para todos”, fundos são criados, o Plano Nacional da Educação é reestruturado a cada governo, mas a política financeira para educação se torna cada vez mais recessiva (DAVIES, 2004). A crescente diminuição nas verbas para se fazer educação neste país é preocupante como no caso da professora Alaíde Martins que dá suas aulas a luz de um candeeiro em Poço Redondo, no alto sertão de Sergipe, porque em sua escola não tem energia elétrica (DUARTE, 1998). Essa política recessiva vem causando uma série de problemas como professores mal remunerados, falta de recursos didáticos e paradidáticos, a evasão escolar (consequência da falta de merenda e transporte escolar), falta de capacitação dos professores (ou de baixa qualidade) etc. Apesar de alguns investimentos terem sido realizados no atual governo como o bolsa-escola e destinação de recursos para o transporte escolar, ainda há muito o que se fazer. Toda essa estrutura deficitária tem como consequência a crescente dificuldade do aluno de concentração e entendimento nas mais diversas áreas do conhecimento, sobretudo, na área de ciências, em particular, Física. Assim, propostas de reestruturação de Ensino de Física são de grande valia para tentar minimizar os problemas causados pelo contorno do processo ensino-aprendizagem que Chevallard chama de noosfera e define melhor:

En la noosfera, pues, los representantes del sistema de enseñanza, con o sin mandato (desde el presidente de una asociación de enseñantes hasta el simple profesor militante), se encuentran, directa o indirectamente, (a través del libelo denunciador, la demanda conminatoria, el proyecto transaccional o los debates ensordecidos de una comisión ministerial), con los representantes de la sociedad (los padres de los alumnos, los especialistas de la disciplina que militan en torno de su enseñanza, los emisarios del órgano político) (CHEVALLARD, 1991, p. 28).

Na noosfera, os representantes do sistema de ensino, com ou sem mandato (desde o presidente de uma associação de professores até o simples professor militante), se encontram, direta ou indiretamente (no impulso de uma denúncia, na demanda obrigatória, no projeto de transações ou nos debates ensurdecidos de uma comissão ministerial) com os representantes da sociedade (os pais dos alunos, os especialistas da disciplina que militam ao redor de seu ensino, os emissários de órgãos políticos) (tradução livre).

Na escola particular também há problemas de investimentos ocasionados pela influência da noosfera. O problema aqui é como distribuir estes investimentos. Fala-se muito em práticas pedagógicas inovadoras, mas pouco se discute, em termos práticos, a reestruturação do funcionamento da escola. Não há como introduzir projetos pedagógicos com qualidade, como temas transversais e estudo com projetos, sem que os professores possam discutir periodicamente em suas instituições. O professor de Ensino Médio precisa deixar ser o “professor-táxi” que visita o colégio para somente ministrar suas aulas. É preciso o professor dentro do colégio, mas fora da sala de aula para discutir, elaborar e reestruturar, com colegas, coordenação, supervisão e direção, novos e antigos projetos pedagógicos. Encontros semanais ou diários se fazem necessários para a melhoria da prática pedagógica.

Interessante perceber que tanto no ensino público quanto no ensino particular o problema é ocasionado pela noosfera é de investimento. No primeiro caso, a escassez destes recursos traz conseqüências desastrosas para a formação do jovem brasileiro. No segundo caso, o problema é como utilizar estes recursos que também pode trazer conseqüências não menos desastrosas que as anteriores. Então, é importante se pensar em como resolver estes problemas em curto prazo uma vez que o aumento de recursos ou redirecionamento dos mesmos pode levar anos ou mesmo décadas para ocorrer.

A fim de minimizar as dificuldades vivenciadas devido à noosfera da educação brasileira, a pesquisa sobre o processo ensino-aprendizagem ganha cada vez mais importância na medida

em que é fundamental a percepção dos aspectos positivos e negativos da prática docente, principalmente, na apresentação de novos conteúdos. Contudo, é importante se destacar que é muito difícil minimizar os prejuízos devido à falta de investimento em educação com práticas pedagógicas as mais revolucionárias possíveis. Um projeto educacional de qualidade requer, como qualquer outro setor, investimento. Infelizmente, é sabido que a tendência administrativa de recessão orçamentária em educação já ocorre desde, pelo menos, o início do governo Fernando Henrique Cardoso – desde 1994 – (DAVIES, 2004), então para diminuir as dificuldades ocasionadas pelas verbas escassas o desenvolvimento de um projeto pedagógico torna-se a única saída. Contudo, o problema não é somente no setor público. As escolas particulares também enfrentam dificuldades na distribuição de recursos.

O discurso de prática pedagógica inovadora montada na mesma estrutura de funcionamento da escola do início do século passado de nada adianta. A redistribuição de verbas para um maior investimento no setor de recursos humanos torna-se imprescindível para implantação de novas práticas pedagógicas. Contudo, não se pode esperar, de braços cruzados, um investimento das escolas particulares em espaço e tempo para os professores elaborarem e discutirem seus projetos. É preciso mostrar, aos que gerenciam as escolas, esta necessidade e somente desenvolvendo projetos pedagógicos que façam com que eles percebam a importância de modificarem sua postura é que haverá uma mudança gradual na atual estrutura. Mas, enquanto não ocorre esta mudança estrutural, é preciso dialogar com o aluno de forma mais acessível e prazerosa. É desta preocupação que se encontra, entre outras linhas de pesquisa em Ensino de Física, o desenvolvimento de novas metodologias para a introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio com o objetivo de minimizar, ainda que talvez de forma bem pontual, os problemas da noosfera citados anteriormente. Por exemplo, o trabalho de Canato Júnior (2003) discute, numa perspectiva integradora, a quebra do ensino cartesiano e fracionado da Física e, mais especificamente, da Física Moderna e Contemporânea argumentando que a prática pedagógica com textos contextualizados pode render bons resultados. Alveti (1999) também mostra sua preocupação com esta área de ensino fazendo um levantamento das abordagens da Física Moderna e Contemporânea em textos de divulgação científica, concentrado seu trabalho na revista *Ciência Hoje*. De Paulo (1997) apresenta elementos norteadores de uma possível inserção de Física Moderna no Ensino Médio. Assim, percebe-se a ampla preocupação com essa nova área de ensino para o público do Ensino Médio, além disso, a introdução de conceitos e experimentos estudados no final do século XIX e no início do século XX, visa atender a Lei de Diretrizes e Base da

Educação Nacional de 1996 (LDB/1996) bem como a sugestão apresentada nos Parâmetros Curriculares Nacionais Mais para o Ensino Médio (PCN+EM) colocando um novo sentido para a Física:

Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio, não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem (p.59).

Os conceitos relacionados à Física Moderna, abordados de forma conveniente, procuram aproximar os alunos de seu cotidiano uma vez que algumas situações de seu dia-a-dia estão relacionadas com temas como a natureza dual da luz, o comportamento das partículas com altas velocidades e a estrutura atômica discutidos à luz do século XX (CANATO JR, 2003). Dos fenômenos mais simples aos mais complexos podem ser explicados como o funcionamento de um CD ou DVD, uma lâmpada fluorescente, os fotômetros usados por fotógrafos profissionais etc., valendo-se da física desse período (PIETROCOLA, 2005). Assim, uma pesquisa a respeito de como se dá a construção do conhecimento se faz de suma importância, essencialmente no desenvolvimento desses conteúdos.

É fato que o Ensino de Física precisa de uma reformulação, não somente em relação aos conteúdos abordados, mas também em relação a sua metodologia, como comenta Canato Júnior (2003). Pesquisadores do Brasil inteiro têm contribuído para essa reestruturação, tentando adequar o ensino à nova realidade do jovem moderno (COELHO, 1995; DE PAULO, 1997; ALVETTI, 1999 e CANATO JR, 2003).

O ano de 2005 foi conclamado o Ano Internacional da Física, em comemoração aos 100 anos da publicação dos quatro artigos de Albert Einstein, que revolucionaram a comunidade científica (e mais a submissão do quinto artigo que foi publicado em 1906) e em relação aos quais se colhem os frutos tecnológicos nos dias atuais. A Física do início do século XX é repleta de personalidades importantes com contribuições igualmente importantes. Contudo, destaca-se, em particular, a figura de Einstein, porque esteve envolvido com os principais temas de discussão na comunidade científica, sem estar diretamente ligado, inicialmente (até por volta de 1908), ao mundo acadêmico.

A Física Moderna é bastante abrangente, envolvendo problemas e situações bem intrigantes que merecem bastante atenção. Entretanto, o fenômeno do Efeito Fotoelétrico deve receber destaque especial, uma vez que aborda o problema da natureza da luz, a qual pode-se dizer que representa o marco inicial de uma nova mecânica, a Mecânica Quântica. Naturalmente, a hipótese revolucionária utilizada para explicar tal fenômeno levou Einstein ao Prêmio Nobel de Física de 1921.

O Efeito Fotoelétrico representa um dos primeiros fenômenos estudados que possuem suas explicações na idéia dos quanta de energia. Além disso, é possível utilizar uma abordagem de matemática simples e acessível ao estudante de Ensino Médio nas explicações de tal fenômeno (GASPAR, 2000). Por isso, foi escolhido neste trabalho para a abordagem da natureza corpuscular da luz. A natureza ondulatória da luz é discutida através de fenômenos notadamente conhecidos e reconhecidos como ondulatórios desde o século XIX como a reflexão e a interferência.

Os conceitos relativos à Física Moderna têm um caráter abstrato uma vez que não são perceptíveis aos sentidos básicos do indivíduo, entretanto, estão cada vez mais presentes no dia-a-dia de qualquer cidadão. Entender tais conceitos e reconhecê-los em diversas situações melhora o diálogo do indivíduo com a sociedade, mesmo para aqueles contemplados com áreas não relacionadas com as ciências da natureza. Neste sentido, o Item IV do artigo 35 da seção IV do capítulo II do Título V da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional de 1996 (LDB/1996), o ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidade:

(...) a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

E ainda na mesma seção no artigo 36, item II, estabelece que o ensino médio:

(...) adotará metodologias de ensino e de avaliação que estimulem a iniciativa dos estudantes.

Também na mesma seção, no parágrafo 1º, item I, em relação aos conteúdos, metodologias e as formas de avaliação que sejam organizados de tal forma que, ao final do ensino médio, o educando demonstre:

(...) domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna.

A dificuldade na implementação dos Parâmetros Curriculares (PCN's) é digna de nota devido a uma série de fatores como a inabilidade de tal implementação por parte dos professores, da direção e da supervisão escolar. É difícil exigir uma postura de profissionais na qual não foram formados (RICARDO e ZYLBERSZTAJN, 2002). Tal dificuldade tem relevância na física, sobretudo, na introdução de conceitos relativos a Física Moderna, mas sua importância cresce na medida em que a LDB/1996 estabelece a necessidade do educando em possuir “o domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna”. Neste sentido, além de buscar superar as deficiências de sua formação, o professor deve procurar compreender como ocorre a construção do conhecimento a fim de tornar sua prática mais objetiva e prazerosa.

São muitas as teorias que abordam como ocorre a construção do conhecimento surgidas no último século. Contudo, a Teoria da Personalidade dos Construtos Pessoais (TCP) de George Kelly (1963) tem se apresentado de forma facilitadora (RODRIGUES, 2005 e BEZERRA, 2005) por se tratar de uma teoria da personalidade baseada no desenvolvimento cognitivo, ou seja, por focalizar a aprendizagem como a peça central no desenvolvimento da personalidade. É de se esperar que possa trazer também profundas contribuições quando aplicada na compreensão de como ocorre a construção do conhecimento de conceitos relacionados a área das ciências, de um modo geral, e com a Física Moderna, em particular, uma vez que retrata a aprendizagem como formadora do indivíduo.

A utilização da Teoria dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963) já se mostrou com bons resultados no processo ensino-aprendizagem na área de ciências como pode ser percebido nos trabalhos de Rodrigues (2005), que utiliza a técnica da matriz de repertório para investigar o conceito de energia numa perspectiva integradora e através de experimentos, e de Bezerra (2005), que aborda o desenvolvimento da concepção da interdependência entre elementos da biosfera fazendo uso do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica, já citados anteriormente. Assim, tomando como referência os resultados positivos destes dois trabalhos e acreditando na concepção fortemente cognitiva da Teoria dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963), este trabalho teve como objetivo principal:

- Verificar se o Ciclo da Experiência de Kelly, utilizado como instrumento metodológico, desempenha papel facilitador na compreensão do comportamento dual da luz.

Assim, estruturado na Teoria da Personalidade dos Construtos Pessoais de George Kelly (1963) e nos fenômenos do Efeito Fotoelétrico, reflexão e interferência, esta pesquisa possuiu como objetivos específicos:

- Investigar a compreensão do comportamento dual da luz através dos fenômenos ondulatórios (reflexão e interferência) e corpuscular (Efeito Fotoelétrico);
- Verificar se ocorrem mudanças cognitivas no sistema de construção dos alunos devido à utilização do Ciclo da Experiência da Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly (1963);
- Fazer com que os alunos consigam distinguir os fenômenos ondulatórios dos fenômenos corpusculares, além de definir, coerentemente, onda e partícula.

Enfim, formulou-se a seguinte hipótese para a presente pesquisa:

- A utilização do Ciclo da Experiência da Teoria dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963), como instrumento metodológico, permite a compreensão do comportamento dual da luz no estudo dos fenômenos ondulatórios (reflexão e interferência) e corpuscular (Efeito Fotoelétrico).

No próximo capítulo, apresenta-se uma discussão histórica e científica a respeito da dualidade onda-partícula da luz, tomando-se como referência o século XVII, quando a discussão a respeito da natureza da luz passa de um caráter filosófico para um caráter mais científico. No capítulo 3, são discutidas as bases teóricas da Teoria da Personalidade dos Construtos Pessoais (KELLY, 1963) e os corolários da Construção e da Experiência, de maior relevância para esta pesquisa. No capítulo seguinte, detalha-se como a proposta de ensino foi estruturada e como foi realizada a análise dos dados. Os bons resultados da pesquisa bem como a discussão a respeito de algumas respostas particulares e linhas gerais de raciocínio são apresentadas no capítulo 5. Finalmente, a última parte do trabalho retrata as conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

2. A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE LUZ

2.1 A Luz até o Século XIX – Inicialmente partícula, depois, definitivamente, onda

A discussão a respeito do que é a luz é muito antiga. Contudo, a partir do século XVII, a discussão passa do campo filosófico para o científico. Os primeiros trabalhos com este aspecto foram o de Descartes, em 1637, que, para demonstrar a lei da refração, ele sugeriu que a luz é formada de partículas e tem maior velocidade em meios mais densos e o de Fermat, em 1661, que, para demonstrar a mesma lei, utilizou seu postulado do tempo mínimo e sugeriu que a luz tem menor velocidade nos meios mais densos. Assim estava inaugurada a discussão a respeito da natureza da luz (ROCHA, 2002).

Nesse período, havia uma grande discussão a respeito da natureza da luz visível (é onda ou conjunto de partículas?). Newton (1996) defendeu o modelo corpuscular da luz e explicou fenômenos como reflexão, refração (fenômenos essencialmente ondulatórios, de acordo com modelos aceitos atualmente) e propagação retilínea através da idéia de ‘corpúsculos de luz’. Apesar de ter realizado pesquisas sobre a luz durante toda a sua vida, ele só publicou seus resultados, de forma completa, em 1704. Ele explicou a refração da luz, por exemplo, dizendo que os corpúsculos eram atraídos pelo meio mais refringente quando se aproximavam da superfície, sendo acelerados e sofrendo o desvio observado. Note que, atualmente, sabe-se que a água é mais refringente que o ar e se a hipótese de Newton estivesse correta, então a velocidade da luz na água seria maior do que no ar o que, de acordo com medidas mais modernas, sabemos que não é verdade. Acontece que, à época, ainda não se tinha realizado a medida da velocidade da luz. Esta só ocorreu em 1849, com Fizeau (CARDOSO, 2005), que mediu a velocidade da luz no ar e, em 1850, com Foucault, que mediu a velocidade da luz na água (ROCHA, 2002).

Huygens, contemporâneo de Newton, se contrapunha à hipótese corpuscular de Newton. Explicou o fenômeno da reflexão sob a hipótese de que cada ponto de uma frente de onda de luz era um centro emissor de novas ondas esféricas como mostrado na figura 01.

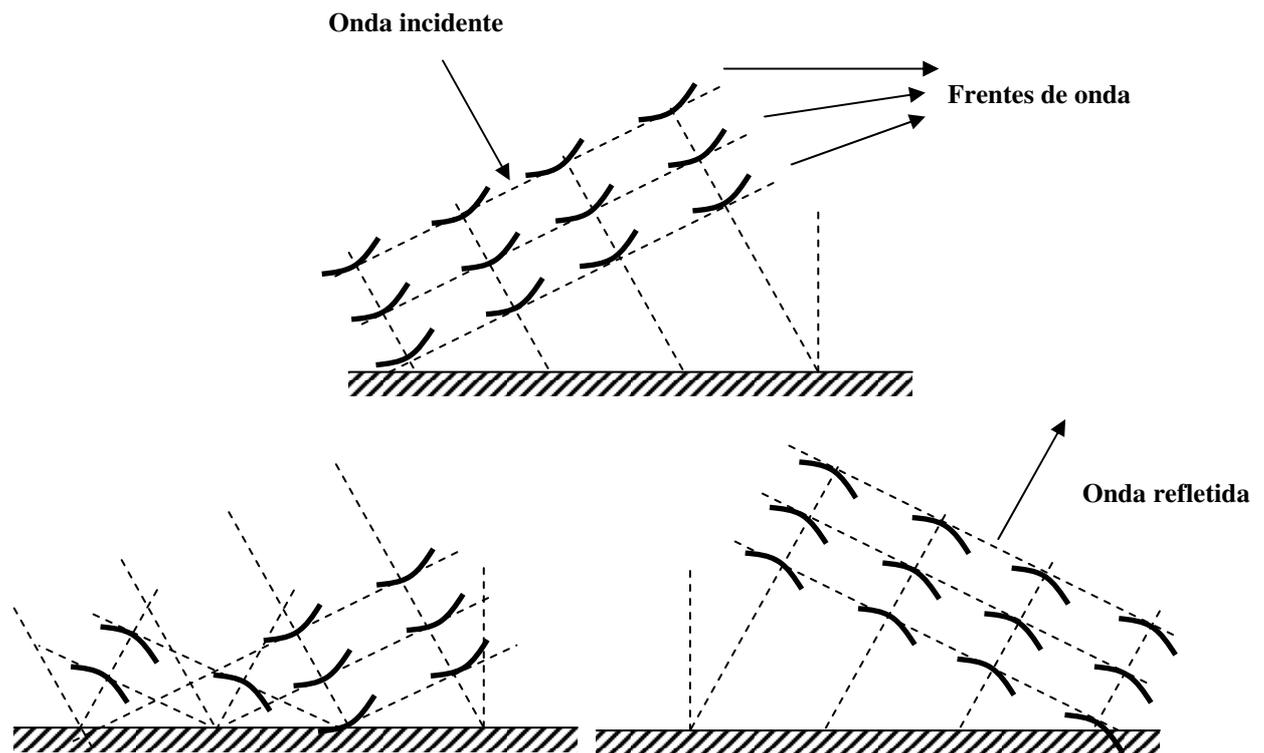


Figura 01 – Modelo de Huygens para reflexão da luz

Observam-se as frentes de onda (de luz) atingindo a superfície refletora e sofrendo reflexão e, portanto, como cada ponto da onda serve como um novo centro emissor, então, em todos os pontos do espaço ocupados pela onda há sempre novas emissões de onda ocorrendo uma distribuição contínua no espaço dessa onda. Na figura anterior, as chamadas frentes de onda representam as cristas das ondas luminosas de forma que a distância entre duas frentes é o que chama-se de comprimento de onda. Huygens utilizou a mesma hipótese para explicar o fenômeno da refração e apesar de apresentar uma boa explicação a respeito do fenômeno dos dois fenômenos e já serem conhecidos os fenômenos da difração (1665), da interferência (1665) e da polarização (1669) que também apresentavam boas explicações por ele, sua hipótese não foi a mais aceita naquele período, certamente, por causa do maior prestígio que Newton gozava perante a comunidade científica (ROCHA, 2002).

Em 1803, Young realizou a famosa experiência da dupla fenda (figura 2a) e observou que a luz, tal como as ondas produzidas na superfície de um lago através de duas fontes (figura 2b), sofre difração e interferência. A experiência consiste em deixar a luz passar por um orifício cujo tamanho seja da ordem de grandeza do comprimento de onda da luz visível (que é muito menor que o comprimento de onda das ondas mecânicas produzidas na superfície de um lago) e, a seguir, deixá-la passar por dois orifícios de mesmo tamanho que o anterior observando a

figura de interferência formada em um anteparo como sugere a figura 02. Nesta figura ilustrativa é utilizado um laser, artefato que Young não dispunha quando da realização desta experiência.

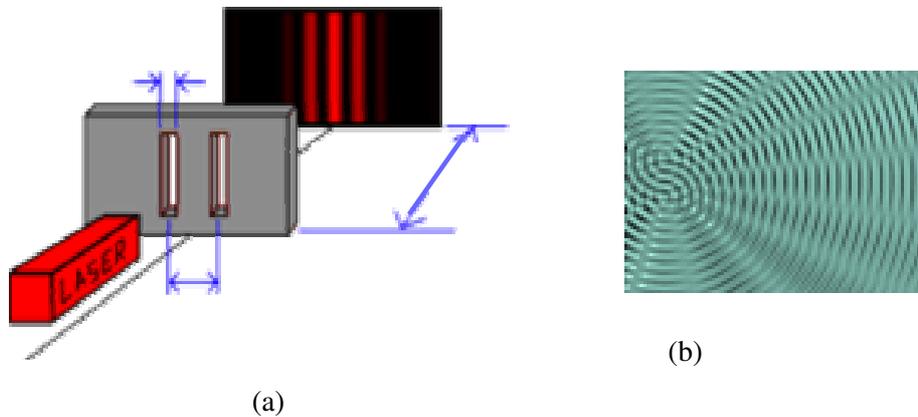


Figura 02 – Experiência da Fenda Dupla (a) e ondas mecânicas interferindo (b)

As explicações fornecidas por Young são baseadas no modelo de Huygens para a luz, ou seja, as frentes de onda, após atravessarem as fendas funcionam como novas fontes emissoras de luz se distribuindo continuamente em todo o espaço a seu redor e, portanto, fazendo com que as ondas originárias de uma fenda interfira nas ondas originárias da outra fenda exatamente como ocorre na interferência de ondas mecânicas na superfície de um lago (figura 02 (b)). O resultado é a imagem no anteparo da figura 02 (a) que só é possível de ser observado se as duas ondas forem (oriundas das fendas) emitidas simultaneamente o que ocorre se a fonte utilizada for um laser, mas se for uma lâmpada comum é preciso fazer a luz passar por uma primeira fenda como fez, de fato, Young.

Apesar das fortes evidências do comportamento ondulatório da luz, durante todo o século XVIII, prevaleceu a concepção corpuscular da luz defendida, principalmente, pelos seguidores Newton. Contudo, a medição da velocidade da luz no ar e na água realizada por Fizeau, em 1849, fez com que a hipótese ondulatória de Huygens passasse a ser a mais adotada (pelo menos temporariamente), pois havia confirmado a previsão de Fermat de que em meios mais densos (água) a velocidade da luz é menor.

Entretanto, não foi somente a medição da velocidade da luz que favoreceu a aceitação da teoria ondulatória da luz. James Clark Maxwell apresentou a sociedade científica, em 1864, uma teoria na qual estabelecia matematicamente, através de quatro geniosas equações, uma

teoria eletromagnética que previa a natureza de onda eletromagnética para a luz. Era preciso, então, provar experimentalmente este comportamento. Heinrich Hertz passou a se dedicar a este trabalho e em 1887 conseguiu prová-lo escrevendo com um triunfo inocente:

As experiências descritas me parecem em alto grau adequadas para remover as dúvidas sobre a identidade entre a luz, a radiação térmica e as ondas eletromagnéticas (HERTZ *apud* ROCHA, 2002).

Curiosamente, os mesmos experimentos que levaram a Hertz a confirmar a natureza ondulatória da luz também o fizeram registrar um fenômeno, chamado posteriormente de Efeito Fotoelétrico, que veio a ser explicado, anos mais tarde, considerando o comportamento corpuscular da luz. A discussão mais detalhada desse fenômeno é realizada na próxima seção.

2.2 As Experiências de Heinrich Hertz e Philip Lenard

Como foi dito anteriormente, em 1887, Hertz, em seus experimentos para comprovar que a luz é uma onda eletromagnética, também observou que a radiação eletromagnética ao incidir sobre uma superfície metálica produzia corrente elétrica. Quando se incide radiação eletromagnética (luz) sobre uma superfície metálica (catodo) pode-se observar que a radiação interage com o metal, podendo arrancar elétrons. Se houver uma outra superfície (anodo) capaz de receber esses fotoelétrons (elétrons emitidos devido à interação da radiação eletromagnética com o metal) e essas duas superfícies estiverem conectadas a uma bateria (fonte de força eletromotriz), então se observa corrente elétrica no circuito. A função da bateria é acelerar/desacelerar o elétron para que ele possa atingir a placa receptora de elétrons (anodo) como mostramos na figura 03.

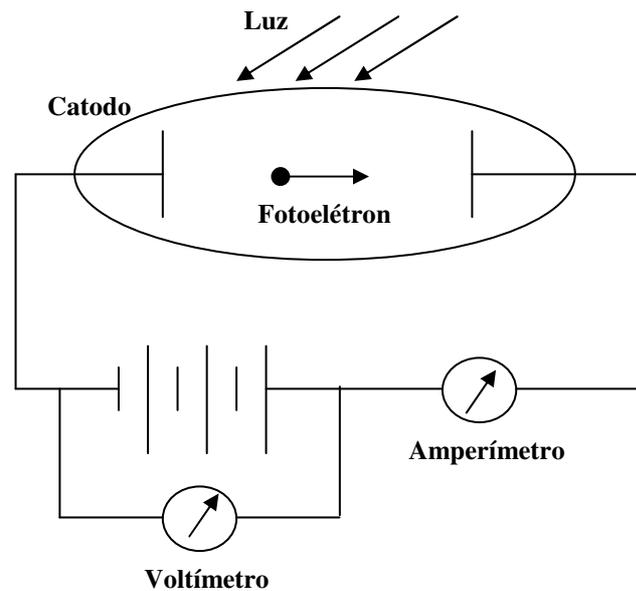


Figura 03 – Circuito do Efeito Fotoelétrico

Em outro trabalho, em 1902, Philip Lenard realiza o mesmo experimento e obtém o mesmo resultado de Hertz. Em seu trabalho, Lenard utilizou uma fonte de luz a partir de um arco de carvão na qual podia controlar a intensidade da fonte e, por isso, percebeu que o fenômeno observado não dependia da intensidade da fonte luminosa. Resultado muito estranho, pois se a luz é uma onda luminosa como se acreditava, então sua energia é distribuída continuamente no espaço e, conseqüentemente, uma fonte de luz mais intensa forneceria mais energia para cada elétron (descoberto por J.J. Thomson, em 1897) e eles deveriam ser arrancados com maior energia cinética. Lenard mediu esta energia através da aplicação de um potencial elétrico que fizessem o elétron diminuir sua velocidade até parar e não atingir a placa receptora, registrando corrente elétrica nula no circuito. Este problema ficou conhecido como o problema da intensidade da luz (BARATA, 2005).

Um outro problema já conhecido desde os experimentos de Hertz foi o problema da frequência ou fonte luminosa. O fenômeno só ocorria quando se utilizava fonte que continha a luz violeta ou que continha a radiação ultravioleta. Ora, de acordo com a teoria ondulatória, como a energia é distribuída continuamente no espaço, qualquer que fosse a fonte de luz forneceria energia que seria acumulada até ocorrer acúmulo de energia suficiente para produzir corrente elétrica no circuito. Outro resultado intrigante.

O terceiro problema de relevância é conhecido como o problema do retardo do tempo. O problema foi abordado, certamente, por Lenard uma vez que, em seus trabalhos utilizou uma

fonte de luz de intensidade variável. Mais uma vez considerando a luz como uma onda eletromagnética, como previa a teoria do eletromagnetismo de Maxwell e comprovada experimentalmente pelo próprio Hertz, ao utilizar uma fonte de luz que contivesse a luz violeta ou a radiação ultravioleta de baixa intensidade, ou seja, menor quantidade de energia distribuída no espaço, deveria se esperar um certo tempo até que ocorresse acúmulo de energia suficiente para produzir corrente elétrica no circuito. O problema é que este retardo no tempo nunca ocorreu. Independentemente da intensidade luminosa, o fenômeno sempre ocorria. Mais um problema a resolver.

Assim, a teoria do eletromagnetismo de Maxwell que parecia ter triunfado com parte dos resultados dos experimentos de Hertz não explicava o que ocorria no fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Os três principais problemas (da intensidade, da frequência e do retardo do tempo) apresentados por Lenard estavam sem resposta.

2.3 As Explicações de Einstein e a Controvérsia na Comunidade Científica

Então, em 1905, Einstein (Nobel, 1921) propôs que a luz, ou melhor, que toda radiação eletromagnética de frequência f é constituída de pacotes de energia ($E = hf \rightarrow$ onde h representa a constante de Planck) aos quais ele chamou de quanta (quantum) de energia ou, simplesmente, fóton (nomenclatura dada por Gilbert N. Lewis, em 1926). Como comprovação de sua hipótese, ele propôs uma explicação para o Efeito Fotoelétrico, a fotoluminescência e a ionização dos gases por meio da luz ultravioleta.

A hipótese apresentada causou grande inquietação da comunidade científica como assinala Segrè:

(...) Naquela época, os cientistas sabiam que a luz era constituída de ondas eletromagnéticas; se havia alguma coisa de certo, era isso. No entanto, Einstein de dúvidas e revelou a natureza dual da luz – corpuscular e ondulatória (SEGRÈ, 1987, p. 89).

A explicação de Einstein supôs que a luz é formada por partículas (fótons, numa linguagem mais atual) o que, portanto, contrariava o modelo aceito na época (luz \rightarrow onda eletromagnética), então, é natural que fosse rejeitado inicialmente. O próprio Planck que, em 1900, havia explicado a radiação emitida pelo corpo negro com a hipótese de quantização de

energia não aceitou a quantização da luz. Na indicação de Einstein para a Academia de Ciências da Prússia, em 1913, Planck disse:

Perdoem uma pequena falta para um tão grande homem (RAPOSO, 2003).

Em suma, pode-se afirmar que não há praticamente nenhum problema da física moderna ao qual Einstein não tenha dado alguma notável contribuição. Que ele tenha às vezes errado o alvo em suas especulações, como, por exemplo, em sua hipótese dos quanta de luz, não pode ser realmente tomado como uma acusação muito séria contra ele, pois não é possível introduzir idéias verdadeiramente novas sem correr o risco de vez em quando (RAPOSO, 2003).

Einstein comentou sobre a diferença entre a sua hipótese dos quanta e a de Planck:

O fato de que uma cerveja seja sempre vendida em garrafas não implica que a cerveja consista de porções indivisíveis de uma garrafa cada uma (RAPOSO, 2003).

Para a comunidade científica conservadora era impossível conceber a natureza corpuscular da luz. Quando, em 1915, após uma série de experimentos, Millikan realizou a comprovação experimental da hipótese de Einstein sobre os quanta de luz, comentou:

Contra todas as minhas expectativas, vi-me obrigado em 1915 a afirmar a sua completa verificação experimental, embora nada tivesse de razoável, uma vez que parecia violar tudo o que conhecíamos sobre a luz (RAPOSO, 2003).

Contudo, ainda assim, a comunidade científica não acreditava na teoria formulada por Einstein. Em relação aos resultados experimentais de Millikan, tratava-se que era apenas uma comprovação experimental da equação do Efeito Fotoelétrico que será mostrada mais adiante, não comprovava a sua teoria dos quanta de luz. Entretanto, Einstein estava determinado a confirmar sua hipótese e de 1906 até 1911 foi sua principal área de pesquisa. Em 1909, publicou um trabalho no qual derivava a energia de flutuação da radiação do corpo negro. Esta fórmula continha dois termos, um referente a natureza corpuscular da radiação e o outro que interpretou como devido a natureza ondulatória. Aqui, ele conseguiu unificar o comportamento corpuscular e o ondulatório, tradicionalmente tidos como contraditórios. Certamente, este segundo trabalho foi essencial na confirmação de sua teoria. A partir de

então, Einstein publicou uma série de trabalhos, até 1925, desenvolvendo mais ainda essa natureza dual da luz (KRAGH, 2002).

Mas, afinal, como Einstein construiu a hipótese dos quanta de luz? Ele começou seu artigo de 1905 intitulado “*Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*” questionando a diferença essencial no tratamento dado aos gases e outros corpos ponderáveis em relação a teoria de Maxwell dos processos eletromagnéticos no espaço vazio. No primeiro caso é levado em consideração um número finito de átomos e elétrons localizados temporalmente e espacialmente possuindo cada um certa quantidade de energia, enquanto no segundo caso as equações de Maxwell retratavam processos contínuos de distribuição de energia, gerando assim uma incompatibilidade evidente. Segundo o próprio Einstein:

(...) Embora consideremos o estado de um corpo completamente determinado pelas posições e velocidades de um número muito grande mas ainda assim finito de átomos e elétrons, fazemos uso de funções espaciais contínuas para determinar o estado eletromagnético de um volume no espaço, de modo que um número finito de quantidades não pode ser considerado como suficiente para determinação completa do estado eletromagnético do espaço (STACHEL, 2001, p. 201).

A essência do trabalho de Einstein foi a comparação do princípio de Boltzman que determina a entropia a partir de uma função de probabilidade adequada com a forma limite da entropia da radiação monocromática para baixas densidades de radiação (pequenos comprimentos de onda). Essa comparação o levou a uma expressão que fornece a probabilidade de uma radiação monocromática de frequência f e energia E encerrada (por paredes refletoras) no volume v_0 de que, num instante escolhido aleatoriamente, a energia total da radiação encontre-se na porção v do volume v_0 . A análise dessa expressão o fez concluir:

A partir disso podemos concluir também que a radiação monocromática de baixa densidade (dentro dos limites de validade da fórmula de radiação de Wien) comporta-se termodinamicamente como se ela consistisse em quanta de energia mutuamente independentes de magnitude $(R\beta/N)f$ (ibidem, p. 215).

Na expressão acima, R é a constante universal dos gases, N é o número de “moléculas reais” (segundo Stachel (2003): “são moléculas que presumivelmente não estão dissociadas) em um

equivalente-grama e β é uma constante de proporcionalidade. Pode-se chamar de constante de Planck $h = (R\beta/N)$.

O termo heurístico no título do seu trabalho refere-se a um trabalho analítico, ou seja, essencialmente teórico. Einstein segue o caminho teoria-experimento. Uma vez formulada a hipótese de que a energia da luz é distribuída de forma discreta no espaço, Einstein sugeriu que a explicação de alguns fenômenos como o Efeito Fotoelétrico (produção de raios catódicos por luz ultravioleta), a fotoluminescência e a ionização de gases através de luz ultravioleta é uma consequência desta hipótese:

De fato, parece-me que as observações da “radiação do corpo negro”, fotoluminescência, produção de raios catódicos por luz ultravioleta e outros fenômenos associados à emissão ou transformação da luz podem ser mais facilmente entendidas se admitirmos que a energia da luz é distribuída de forma descontínua no espaço. De acordo com a hipótese aqui considerada, na propagação de um raio de luz emitido por uma fonte puntiforme, a energia não é continuamente distribuída sobre volumes cada vez maiores do espaço, mas consiste de um número finito de quanta de energia, localizados em pontos do espaço que se movem sem se dividir e que podem ser absorvidos ou gerados somente como unidades integrais (STACHEL, 2001, p. 202).

Uma vez que as teorias da mecânica estatística e da termodinâmica levavam a confirmação desta hipótese inicial era hora de testar a aplicabilidade de sua teoria em situações práticas como nos fenômenos citados anteriormente e que Einstein utiliza em seu artigo. Esta pesquisa se deterá na investigação de como ele utiliza sua hipótese dos quanta de luz para explicar o Efeito Fotoelétrico como será apresentado a seguir.

A luz incidente consiste de um quanta de energia $E = hf$ (onde f é a frequência da radiação incidente e h é a constante de Planck) que deve ser transferida para o elétron após a colisão. O elétron, por sua vez, está preso à superfície e para ser arrancado é necessário que o fóton incidente tenha uma energia mínima para doar ao elétron. Essa energia mínima chama-se função trabalho ϕ (para elétrons próximos a superfície). Assim, se a energia do fóton ($E = hf$) for igual a função trabalho (ϕ) então o elétron (nas proximidades da superfície) é arrancado e precisa de um estímulo externo para ser deslocado (papel da bateria no circuito da figura 3). Entretanto, se a energia do fóton ($E = hf$) for maior que a função trabalho (ϕ) então o excesso de energia pode ser convertido em energia cinética (E_c) para o elétron. Essa energia cinética do elétron será máxima ($E_{cMÁX}$) para um elétron próximo a superfície do metal (STACHEL,

2001). Finalmente, se a energia do fóton ($E = hf$) for menor que a função trabalho (ϕ) então o fóton não consegue arrancar o elétron. Enfim, a equação proposta por Einstein:

$$E_{cMÁX} = (R\beta/N)f - \phi \text{ (Stachel, 2001)}$$

Pode-se chamar constante de Planck $h = (R\beta/N)$ e escrever novamente a equação como sendo:

$$E_{cMÁX} = hf - \phi$$

Para o Ensino Médio, sem afinidade com os procedimentos estatísticos, é recomendável que seja comentada a trajetória seguida por Einstein até a formulação para que ela não apareça como um “passe de mágica”, mas a abordagem deve ser em termos de conservação de energia como aparece na maioria dos livros do Ensino Médio e do ciclo básico do Ensino Superior (GASPAR, 2000 e NUSSENZVEIG, 1998). Em uma abordagem ou na outra, a pergunta que se tem a responder agora é: como a hipótese dos quanta de luz explica os problemas da intensidade, da frequência e do retardo do tempo?

2.4 A Solução dos Problemas da Intensidade, da Frequência e do Retardo do Tempo

Primeiramente, observe as explicações para o problema da intensidade apresentado Lenard, ou seja, de acordo com a teoria ondulatória, ao aumentar a intensidade luminosa, os fotoelétrons deveriam sair com maior energia o que, na prática, não ocorria. Então, a teoria de Einstein sugere que a intensidade da radiação incidente na superfície está relacionada com o número de quanta de luz que incide sobre a mesma. Assim, aumentar a intensidade da radiação incidente significa aumentar a quantidade de fótons e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de elétrons arrancados, mas não a energia de cada elétron. O primeiro problema estava resolvido.

O segundo problema é a frequência, ou seja, de acordo com a teoria ondulatória, luz de qualquer frequência deveria arrancar os fotoelétrons, mas somente as frequências correspondentes a luz violeta e a radiação ultravioleta conseguiam arrancá-los. A teoria dos quanta de Einstein mostra que o quantum da luz incidente deve ter uma frequência mínima correspondente a uma energia mínima $E = hf$ capaz de romper a ligação do elétron com o

material (função trabalho ϕ). A frequência da radiação que simplesmente libera o fotoelétron sem fornecer energia cinética é chamada de frequência de corte, ou seja, a mínima frequência capaz de arrancar o fotoelétron:

$$E_{cMÁX} = 0 \rightarrow hf_0 = \phi, \text{ onde } f_0 \text{ é a frequência de corte}$$

Graficamente, pode-se observar a dependência da energia cinética máxima ($E_{cMÁX}$) com a frequência da radiação incidente na figura 04.

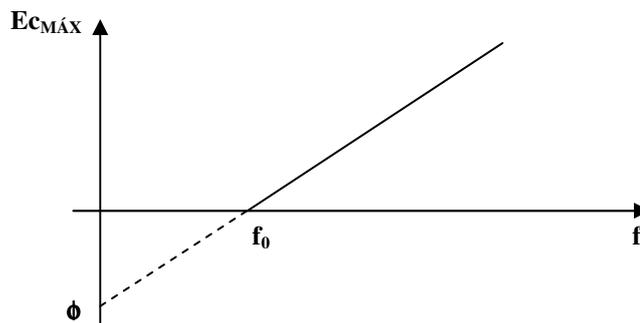


Figura 04 – Gráfico da frequência de corte.

Assim, o segundo problema também estava resolvido. Mas como do retardo do tempo?

O problema do retardo do tempo esperava que o fenômeno ocorresse mesmo com uma luz de baixa intensidade, pois, de acordo com a teoria ondulatória, o elétron acumularia energia gradativamente uma vez que uma onda distribui sua energia continuamente em todo o espaço. A proposta do quanta de luz de Einstein sugere a luz como partícula, ou seja, energia concentrada em um ponto do espaço que ao colidir com o elétron transfere toda sua energia instantaneamente. Portanto, se a intensidade da luz for baixa é porque ela contém poucos quanta de luz, mas cada um deles continua a arrancar instantaneamente um fotoelétron e portanto não existe retardo de tempo.

Enfim, pode-se destacar a importância da explicação do Efeito Fotoelétrico segundo a hipótese de Einstein sob o ponto de vista histórico e conceitual. Uma verdadeira revolução sobre a natureza da luz (radiação eletromagnética) é proposta por Einstein na medida em que se observa seu comportamento ondulatório em certos fenômenos (reflexão, refração, difração, interferência, etc.) e em outros se observa seu comportamento corpuscular (Efeito Fotoelétrico).

Certamente, a teoria dos quanta de luz é um trabalho de elevada genialidade. O próprio Einstein considerou sua hipótese dos quanta de luz de importância mais relevante que sua teoria da relatividade e, para alguns, é o verdadeiro pai da Teoria Quântica uma vez que o trabalho de Planck, de 1900, consistiu muito mais em um trabalho de ajuste matemático do que uma nova teoria (KRAGH, 2002), mas isso é uma outra história que não será tratada neste trabalho.

3. A TEORIA DOS CONSTRUTOS PESSOAIS

3.1 A Matéria-Prima do Professor

Um marceneiro tem como matéria-prima a madeira. Com bastante cuidado e maestria ele trabalha a madeira, construindo uma verdadeira obra de arte. O ferreiro, com igual destreza, trabalha o ferro moldando-o em utensílios de encher os olhos. E o professor? Qual a matéria prima do professor? Será que os professores sabem qual a sua matéria-prima? Como seria imaginar o marceneiro trabalhar sem saber que sua matéria-prima é a madeira? Ou o ferreiro sem saber que a fonte dos seus trabalhos é o ferro? A matéria-prima do professor é o conhecimento. É preciso que o professor saiba um pouco mais sobre o conhecimento para que possa desempenhar seu papel com eficiência. Saber a origem do conhecimento e como ocorre parece de fundamental importância no exercício da função docente. O problema do conhecimento pode ser encarado do ponto de vista filosófico ou do ponto de vista psicológico. Aqui, apresenta-se uma abordagem mútua (psico-filosófica) por considerar impraticável a dissociação completa dessas duas correntes de pensamento em um assunto tão complexo quanto o conhecimento. O objetivo aqui não é oferecer uma discussão exaustiva sobre conhecimento, mas esclarecer a respeito da linha de trabalho adotada.

Os que vêem o pensamento, a razão, como a única origem do conhecimento são chamados de **racionalistas**. Do ponto de vista psicológico, estes são chamados de **inatistas**. O pensamento aqui é encarado como necessário e possui validade universal como, por exemplo, na afirmação “o todo é maior que as partes”. Percebe-se que esta afirmação é independente de qualquer outra, tornando-a universal e, além disso, a sua necessidade lógica é evidente. Estes pensadores acreditam que o pensamento é a única fonte e fundamento do conhecimento. Esta forma de pensar tem sua origem no conhecimento matemático que é predominantemente dedutivo e conceitual, pois o pensamento apresenta-se como completamente independente da experiência. As afirmações da matemática possuem sempre a necessidade lógica e a validade universal dita anteriormente. Os principais contribuidores da corrente racionalista como Platão, Plotino, Agostinho, Gioberti, Descartes e Leibniz tiveram, em sua maioria, sua origem na matemática (HESSEN, 2000).

O **empirismo** sugere que toda fonte do conhecimento é a experiência. O espírito humano é uma folha em branco na qual a experiência vai escrever, é uma *tabula rasa*. Todos os

conceitos, por mais universais e abstratos que sejam, têm sua origem na experiência. Esta forma de pensar também possui uma área do conhecimento ligada a ela, são as ciências naturais, por essência, experimentais. Na química, física ou biologia, por exemplo, o fator experiência está intimamente ligado a cada uma delas. Seus principais seguidores, oriundos, em sua maioria, dessas áreas do conhecimento, foram Locke, Hume e Condillac (HESSEN, 2000).

Até aqui, se apresentou duas formas antagônicas de se perceber a origem do conhecimento. O **racionalismo**, com o pensamento como única fonte do conhecimento, e o **empirismo**, com a experiência como única fonte do conhecimento. O antagonismo destas duas formas de pensar se torna evidente nas palavras de Hessen:

(...) Se o epistemólogo de orientação matemática chega facilmente a encarar o pensamento como única fonte de conhecimento, o filósofo, provindo das ciências naturais estará inclinado a considerar a experiência como a fonte e o fundamento de todo o conhecimento humano (HESSEN, 2000, p. 55).

Na tentativa de unir essas duas formas diferentes de pensar surgem, do ponto de vista filosófico, as correntes intermediárias como o **intelectualismo** e o **apriorismo**. O primeiro sugere que as afirmações com necessidade lógica e validade universal derivam da experiência, ou seja, o pensamento apoiado na experiência se coloca como algo mais amplo que a própria experiência. Contudo, o segundo sugere que há elementos que são *a priori* independentes das experiências, estes elementos não são conteúdos, são formas de conhecimento. São como recipientes vazios que serão preenchidos de conteúdos pela própria experiência (HESSEN, 2000).

Do ponto de vista psicológico, a corrente intermediária, entre o **inatismo** e o **empirismo** é chamada de **construtivismo**. O grupo de pensadores adeptos dessa corrente acredita que o conhecimento resulta da interação do sujeito com o ambiente (GOULART, 1998). Como sugere Carretero, construtivismo é:

(...) a idéia que sustenta que o indivíduo – tanto nos aspectos cognitivos e sociais como nos afetivos – não é um mero produto do ambiente nem um simples resultado de suas disposições internas, mas sim, uma construção própria que vai produzindo, dia a dia, como resultado da interação desses dois fatores (CARRETERO, 1997, p. 10).

Assim, o construtivismo apresenta dois fatores como fundamentais na construção do conhecimento, as representações iniciais que se possui a respeito do que é aprendido e a atividade, externa ou interna, que se desenvolve durante a aprendizagem (CARRETERO, 1997). Observa-se uma fusão clara e evidente das correntes **inatista** (origem do conhecimento no pensamento) e **empirista** (origem do conhecimento na experiência).

Jean Piaget, Henry Wallon, L. S. Vygotsky, D. P. Ausubel e George Kelly são alguns pensadores construtivistas, sendo suas teorias baseadas nessa forma de pensar. Os quatro primeiros elaboram teorias da aprendizagem e o último enfoca a personalidade baseada no desenvolvimento cognitivo. Em todas se observa a preocupação, de uma forma ou de outra, com o processo ensino-aprendizagem.

A aprendizagem aqui é algo que se constrói a partir da interação do aluno, reinventando a verdade a ser aprendida, ou mesmo reconstruindo-a, e não simplesmente servindo como um banco de depósito de conhecimento. O papel do professor passa a ser de incentivador da pesquisa e do esforço em lugar de um mero conferencista que transmite as soluções já prontas. Além disso, é essencial que o mestre tenha consciência não somente da sua ciência, mas também dos processos que levam a construção do conhecimento (PIAGET, 1973).

(...) as supostas aptidões diferenciadas dos “bons alunos” em Matemática ou Física etc., em igual nível de inteligência, consistem principalmente na sua capacidade de adaptação ao tipo de ensino que lhes é fornecido (...) são as lições oferecidas que lhes escapam a compreensão, e não a matéria (*ibidem*, p. 17).

A abordagem construtivista no processo ensino-aprendizagem sugere uma revolução na estrutura de funcionamento das aulas. Questiona a origem da dificuldade de aprendizagem, antes focada unicamente em aptidões dos alunos ou na sua “fraca” capacidade de aprender, agora indica que as lições oferecidas já não são tão eficazes e que é preciso uma mudança de postura do professor.

Outro ponto importante na abordagem de alguns construtivistas é fator social. Para Vygotsky, todos os processos psicológicos superiores, como a linguagem, a comunicação, o raciocínio, são adquiridos, primeiramente, em um contexto social e, depois, se internalizam (CARRETERO, 1997).

(...) Todas as funções psicológicas superiores se originam como relações entre seres humanos (VYGOTSKY *apud* CARRETERO, 1997, p. 13).

Outro autor preocupado com as relações sociais era Henry Wallon. Desenvolveu um modelo psicogenético cuja principal preocupação era o desenvolvimento da criança. Buscou relações entre as operações intelectuais e as relações sociais, acentuando a importância da escola no desenvolvimento, principalmente, das aptidões sociais da criança (GOULART, 1998).

Para ele (Wallon), a educação é um fato social; o homem é um ser social e membro de uma dada sociedade. Ele vive e atua numa realidade social concreta e procura modificá-la. Por isto Wallon considerava que o objeto de seus estudos é a pessoa concreta, isto é, o homem (biológico e psicológico) histórica e socialmente contextualizado; e admite que, quando ignoramos as dimensões políticas e sociais da educação, a obra educativa se torna artificial e limitada (*ibidem*, p. 22).

A teoria de Ausubel tem características bem particulares como os conhecimentos prévios, os organizadores prévios, a aprendizagem significativa e a revalorização da transmissão do conhecimento, quando feita de forma cuidadosa. O início do processo ensino-aprendizagem ocorre com a identificação dos conhecimentos prévios dos alunos. A partir daí, o professor pode pensar nos organizadores prévios, isto é, apresentações com o intuito de servir o aluno para que ele estabeleça relações adequadas com o conhecimento que já possui e o conhecimento novo. Só assim é possível escolher o melhor caminho para que ocorra uma aprendizagem significativa, ou seja, que tenha relação com as coisas que dão sentido ao aluno e não um conhecimento isolado, fora de sua realidade. O melhor caminho pode ser uma aula expositiva desde que, a partir da análise dos conhecimentos prévios, o professor julgar que assim o é (CARRETERO, 1997).

Observa-se a essência do construtivismo em todos os autores até aqui citados, o conhecimento ocorre através da interação do indivíduo com o meio associada às mudanças provocadas por suas disposições internas. Contudo, é importante destacar os nuances que guiam cada um dos autores. De forma prática e didática, Carretero (1997) refere-se a três tipos de construtivismo:

➤ *A aprendizagem é uma atividade solitária.* Piaget e Ausubel seriam seus maiores representantes, onde o enfoque de ambos é o indivíduo e não as relações sociais como fonte de aprendizagem.

➤ *Com os amigos se aprende melhor.* São defensores desses construtivismos pesquisadores a meio caminho entre a aprendizagem focada no indivíduo de Piaget e Ausubel e a aprendizagem que se referencia no contexto social como Wallon e Vygotsky. Ou seja, o conhecimento ocorre decorrente tanto da interação social quanto dos processos individuais. Talvez seu maior representante seja George Kelly cuja teoria será discutida mais adiante.

➤ *Sem amigos não se pode aprender.* Seus maiores representantes são Wallon e Vygotsky que fundamentavam suas teorias nas interações sociais. O conhecimento é produto das relações sociais.

O questionamento inicial era a respeito da origem do conhecimento e constataram-se três formas de abordar o problema, através do **inatismo** (origem do conhecimento na razão), do **empirismo** (origem do conhecimento na experiência) ou do **construtivismo**. O trabalho aqui apresentado baseia-se no modelo construtivista da origem do conhecimento. Parece mais razoável acreditar que o conhecimento é oriundo tanto das atividades internas do indivíduo (razão) como de suas interações com meio (experiências). Mais ainda, no construtivismo que se baseia no *com os amigos se aprende melhor* cujo principal representante é George Kelly. Sua abordagem, direta ou indireta, da aprendizagem traz todas as características dos três tipos de construtivismo mencionados anteriormente, como o papel que as pessoas desempenham quando passam a entender as “formas de pensar” de outras pessoas (em linguagem kellyana, quando passam a entender como ocorre a construção do sistema de construtos da outra pessoa) ou ainda quando retrata a individualidade na forma de pensar (em linguagem kellyana, as pessoas diferem entre si na forma como elas antecipam situações, eventos). Contudo, sua teoria não é uma teoria da aprendizagem, é uma teoria da personalidade cujo enfoque no desenvolvimento cognitivo é tão acentuado que fez alguns pesquisadores em ensino das ciências utilizarem sua teoria no estudo do processo de ensino-aprendizagem como em Rodrigues (2005) e Bezerra (2005). Entretanto, antes de prosseguir, é necessário compreender a que se refere uma teoria da personalidade e mais ainda, será possível utilizá-la na abordagem do ensino-aprendizagem?

3.2 Introdução a uma Teoria da Personalidade

A psicologia, enquanto ciência, surgiu no fim do século XIX como uma junção da filosofia com a fisiologia experimental. Há, marcadamente, duas correntes psicológicas distintas, a psicologia geral e a psicologia da personalidade. O primeiro grupo colhia seus dados em laboratório e foi influenciado pela fisiologia, sendo chamado de psicólogos experimentais, enquanto o segundo grupo retirava seus dados da psicologia clínica, mas também foi influenciado pela fisiologia, sendo chamados de psicólogos teóricos. O estudo clínico da personalidade contribuiu bastante para determinar a natureza da teoria da personalidade. Os experimentalistas baseavam seus trabalhos nos valores e rigores das ciências naturais e os teóricos buscavam suas inspirações em percepções intuitivas e em suas próprias sensações. Assim, pode-se destacar o caráter dissidente dos teóricos da personalidade guiando-os a questões mais funcionais, como o papel dos traumas infantis no ajustamento adulto, as condições em que a saúde mental poderia ser recuperada e as principais motivações responsáveis pela conduta humana, o que garantiu o sucesso da nova ciência. Contudo, apesar de investigar questões centrais sobre a conduta humana isso não indica um esclarecimento a respeito dela, basta perceber que as várias teorias da personalidade têm, cada uma, um caráter particular, sendo difícil conciliá-las (HALL e LINDZEY, 1984).

Os teóricos da personalidade acreditam que uma compreensão adequada do comportamento humano só é possível a partir do estudo de sua personalidade, além de atribuir grande relevância ao papel motivacional. Acreditam que entender o porquê dos impulsos do comportamento é a questão fundamental a ser respondida. A preocupação passa a ser com o indivíduo como um todo. Assim, observa-se a junção das várias segmentações originadas do estudo experimental da psicologia.

(...) o psicólogo da personalidade estava mais preocupado com a reconstrução e integração do que com a análise ou estudo segmentado da conduta. Dessas considerações decorre a concepção algo romântica segundo a qual o teórico da personalidade é o que está em condições de pôr em ordem o quebra-cabeça fornecido pelos estudos isolados das várias especialidades da psicologia (*ibidem*, p. 19).

Até aqui, procurou-se evidenciar qual a origem das teorias da personalidade e quais as suas principais características, além de situá-la dentro do desenvolvimento histórico da psicologia.

Contudo, o entendimento amplo desse estudo será possível se houver a compreensão a respeito do que é personalidade e do que é uma teoria da personalidade.

A tarefa de definir personalidade é bastante difícil, por isso será apresentada a seguir diversas definições situadas em seus devidos contextos. Do ponto de vista popular, pode-se dizer que personalidade é a capacidade de um indivíduo de produzir reações positivas em diversas pessoas nas mais diferentes situações ou, de outra forma, a personalidade é a impressão marcante que o indivíduo causa nas outras pessoas. Segundo Hall e Lindzey (1984), pode-se definir a personalidade do ponto de vista biossocial, em termos da importância social quando, por exemplo, diz-se que uma pessoa não tem personalidade está se referindo falta de reações que ela provoca nas pessoas; do ponto de vista biofísico, a personalidade possui um aspecto constitucional e outro aparente e está ligada as qualidades do indivíduo, específicas, de descrição e de mensuração. Ainda, segundo os mesmos autores, em uma perspectiva globalizante, o teórico procura perceber os conceitos mais importantes utilizados para descrever o indivíduo e define a personalidade a partir deles. Enfim, há diversas formas de se definir personalidade, a escolha é em função da corrente teórica adotada. Este trabalho adota a linha construtivista e por isso a definição de personalidade relaciona-se com a idéia de que as pessoas constroem e reconstroem a realidade à qual respondem e essas respostas são originadas nas experiências vividas anteriormente como sugere Kelly (HALL *et al*, 2000).

(...) a abordagem de George Kelly à personalidade baseia-se na suposição de que os indivíduos constroem a realidade a qual respondem, e a resposta está baseada no uso que o indivíduo faz de sua experiência em contextos prévios similares para antecipar as conseqüências do comportamento (*ibidem*, p. 329).

Observe que essa definição de personalidade possui um aspecto cognitivo muito forte na medida em que há uma referência à construção da realidade e se baseia em experiências anteriores. Todo processo de construção que o indivíduo submete-se contribui para seu desenvolvimento cognitivo. Reportar-se a experiências anteriores amplia seu limite de validade ou o restringe sugerindo um progresso do desenvolvimento cognitivo. A referência central no aspecto cognitivo na teoria de George Kelly (1963) indica que ela pode ser usada como referencial teórico em estudos envolvendo ensino-aprendizagem como é feito no presente trabalho e como encontramos em Rodrigues (2005) e Bezerra (2005).

A segunda questão mencionada anteriormente é a respeito do que é uma teoria da personalidade. Pode-se dizer que é um conjunto de postulados sobre o comportamento humano que se interrelacionam a fim de permitir uma relação com dados empíricos e observáveis. As teorias da personalidade são teorias gerais do comportamento, ou seja, são teorias amplas que procuram descrever, entender e, em alguns casos, prever o comportamento humano. Preocupa-se com todos os fenômenos significativos do comportamento humano. Entretanto, há teorias menos amplas como as teorias motivacionais e da aprendizagem. Em alguns casos, essas teorias mais restritas tornam-se teorias gerais do conhecimento. Isso ocorre quando o teórico não enfoca somente a motivação ou somente a aprendizagem. As teorias da personalidade possuem referências à motivação e à aprendizagem o que as fazem capacitadas a serem utilizadas para explorar o desenvolvimento cognitivo. É certo que alguns teóricos da personalidade colocam a aprendizagem em segundo plano. Contudo, George Kelly (1963) a coloca como o aspecto fundamental de sua teoria possibilitando sua utilização em trabalhos de pesquisa em ensino-aprendizagem.

Enfim, a origem da psicologia levou ao surgimento dos teóricos da personalidade que tiveram papel fundamental no fortalecimento da nova ciência. Eles tinham (e têm) como objetivo o entendimento global do comportamento do indivíduo formulando assim teorias gerais do comportamento humano. A ampla abordagem dessas teorias leva em conta aspectos motivacionais e de aprendizagem. Certas abordagens relegam a aprendizagem a um segundo plano, enquanto que outras teorias colocam a aprendizagem (ou seja, o desenvolvimento cognitivo) como o fator essencial da teoria. Assim acontece na Teoria da Personalidade dos Construtos Pessoais de George Kelly (1963), a qual será detalhadamente explicada nas próximas páginas. Antes, porém, saiba um pouco mais sobre o autor dessa teoria.

3.3 A Vida de George Kelly

Antes de analisar a Teoria da Personalidade de George Kelly, é importante saber em que contexto ela foi elaborada e quais influências sofreu Kelly em sua elaboração devido ao contexto familiar e a outros aspectos. A seguir, uma breve biografia de Kelly servirá de guia para uma discussão mais detalhada de sua teoria.

George Kelly nasceu em 28 de abril de 1905 em uma fazenda, no Kansas, nos Estados Unidos. Sua família era fundamentalista e seu pai fora educado para ser ministro

presbiteriano, mas mudou-se para essa fazenda logo que se casou. Sua família era preocupada em ajudar os menos afortunados e não aceitava entretenimentos fúteis como jogar, dançar etc. Aos 4 anos, viajou ao Colorado com os pais que tentavam trabalhar com a agricultura. Sua educação inicial foi irregular sendo ministrada tanto por seus pais quanto por professores. Aos 13 anos, foi enviado para Wichita para estudar e a partir daí morou poucas vezes com seus pais. Em 1926, formou-se em Física e em Matemática pela Park University, em Parkville, no Missouri. Estudou, inicialmente, engenharia mecânica para depois experimentar uma curta carreira de engenheiro aeronáutico. Em seguida, interessou-se por sociologia educacional vindo a receber o título de mestre pela Universidade do Kansas. Aceitou uma oferta de emprego na Universidade de Iowa onde lecionou várias cadeiras e foi instrutor de teatro. Sua carreira não demonstrava nenhuma inclinação para a psicologia. A primeira leitura de Freud produziu em Kelly:

(...) um sentimento crescente de incredulidade quanto à possibilidade de alguém escrever tanta bobagem e ainda por cima publicá-la. O que me perturbava não era o pansexualismo, que torna Freud objetável para alguns leitores iniciantes, mas os significados elásticos e a sintaxe arbitrária (KELLY *apud* CLONINGER, 1999, p. 422).

Em 1930, viajou à Escócia e obteve o título de bacharel em educação pela Universidade de Edimburgo. Ao voltar para os Estados Unidos fez seu doutorado, após estudar apenas um ano, em psicologia, na Universidade de Iowa, o que fez com que ele estabelecesse menos vínculos com outras teorias, deixando mais livre para elaborar uma teoria “à margem” de todas as outras que existiam até o momento. Nos treze anos seguintes, trabalhou no Fort Hays Kansas State College, onde se voltou para a psicologia clínica e estabeleceu um programa de clínica itinerante com apoio do governo atendendo estudantes de todo estado e desenvolvendo novas abordagens de problemas clínicos. Durante a Segunda Guerra Mundial, recebeu um posto da marinha. Após a guerra, trabalhou como professor associado na Universidade de Maryland. Tornou-se professor e diretor de psicologia clínica na Universidade Estadual de Ohio em 1946. Em 1955, Kelly publicou sua obra mais importante *The Psychology of Personal Constructs*, em dois volumes. Em 1965, recebeu o convite para ocupar um cargo na Universidade de Brandels. Kelly morreu, prematuramente, em 6 de março de 1967 (CLONINGER, 1999; HALL *et al*, 2000; SCHULTZ e SCHULTZ, 2004).

3.4 As Bases da Teoria dos Construtos Pessoais

A formação heterogênea de Kelly, ciências exatas e ciências humanas, e o pouco contato com outras teorias o conduziu para um caminho um pouco diferente dos outros psicólogos. As bases teóricas de sua teoria surgem no período em que orienta alguns alunos nos estudos de psicologia e atende clinicamente outros estudantes capazes de discutir racionalmente seus problemas. Não cuidou de neuróticos, psicóticos ou pessoas com outros distúrbios psiquiátricos. Certamente, se tivesse que lidar com esquizofrênicos ou algo parecido sua teoria teria sido conduzida em outro sentido (SCHULTZ e SCHULTZ, 2004). Em sua obra *The Psychology of Personal Constructs* (1963) estabeleceu as bases de sua teoria. Essa obra é uma síntese da obra de mesmo nome publicada no ano de 1955, em dois volumes.

- **Construto.** É uma hipótese que o indivíduo elabora e utiliza para descrever pessoas, conceituar coisas ou, de uma forma mais geral, para antecipar eventos. Entenda-se por eventos, a partir de agora, situações sociais, pessoas, coisas etc. Os construtos possuem natureza dual como, por exemplo, bom-ruim, amor-desamor, gordo-magro etc. Schultz e Schultz (2004, p. 341) entendem construto como “hipótese intelectual que elaboramos para explicar os eventos da vida. Os construtos são bipolares ou dicotômicos, tais como alto *versus* baixo, honesto *versus* desonesto”. Para Peck e Whitlow (1976, p. 49), “um construto é mais que um mero rótulo; é um modo de predizer eventos futuros” e mais ainda “a utilidade de um construto é determinada pela exatidão das predições que formulamos a partir dele”. De acordo com o próprio Kelly (1963, p. 105 – tradução livre), “um construto é a forma pela qual algumas coisas são interpretadas como sendo parecidas e, no entanto, diferentes de outras”.

- **Alternativismo construtivo.** É a base filosófica de toda a sua teoria. Refere-se ao fato de que as pessoas são livres para escolher a forma como vêem o mundo e seus comportamentos decorrem dessas escolhas. Há sempre caminhos alternativos a serem seguidos. “Nós assumimos que todas as nossas interpretações atuais do universo estão submetidas a revisões e reconstruções” (KELLY, 1963, p. 15 – tradução livre). A todo o momento as pessoas tomam decisões escolhendo o melhor caminho a ser seguido baseado em sua experiência de vida. Esse posicionamento é uma mistura de livre arbítrio com determinismo como assinala Hall *et al* (2000). Segundo Gargallo e Cánovas:

A postura filosófica de Kelly se insere em uma tentativa de equilíbrio entre o empirismo e a lógica pragmática, sempre vigente na mais pura tradição americana, e o racionalismo/idealismo, procedente de uma tradição mais européia. O homem se aproxima do mundo a partir de suas construções (racionalismo), porém tais construções se confrontam experimentalmente com a realidade. Isto provoca uma separação do realismo tradicional (MINGUET, 1998, p. 151).

A posição descrita acima parece resultar em uma busca pelo construtivismo. Um rompimento com o empirismo fundamental e com racionalismo (inatismo) tradicional, em uma tentativa de junção dessas duas correntes tão antagônicas.

- **A metáfora do homem-cientista.** O homem, quando colocado diante de qualquer pessoa ou de qualquer objeto ou ainda de qualquer situação, elabora uma série de hipóteses que servem para descrever uma pessoa ou coisa ou prever determinadas situações sociais, caso suas hipóteses não sejam comprovadas são rejeitadas e elaboradas novas hipóteses assim como faz um cientista. Como relata Hall *et al* (2000), a idéia dessa metáfora surgiu quando Kelly alternava seu atendimento entre orientação a estudantes de mestrado e atendimento clínico de seus pacientes. Percebeu que durante toda a tarde, ao atender seus estudantes ou seus pacientes, fazia a mesma coisa, ou seja, atuava como um cientista. Contudo, é notadamente evidente que o homem se distancia do cientista no que diz respeito à precisão de suas previsões. O cientista controla tudo com o embasamento científico que já conhece e é reconhecido pela comunidade científica, enquanto que o indivíduo tem como alicerce apenas suas experiências anteriores que pode ser vasta, mas também pode ser mínima. Assim, Gargallo e Cánovas explicam:

Em resumo, o homem, ao longo de sua perspectiva histórica, pode ser considerado como um cientista recém-iniciado. Todos os seres humanos formulam previsões a respeito dos fenômenos a acontecimentos que procuram explicar, predizer e controlar seu curso. As construções que realizamos nos ajudam nesse esforço preditivo. Posteriormente, as construções se confrontam com os acontecimentos aos quais se referem para validar sua eficácia, e, se são inadequadas, se modificam. É o mesmo procedimento do cientista profissional, que confronta suas hipóteses e teorias com dados experimentais ainda que as ferramentas de contraste não sejam tão precisas (MINGUET, 1998, p. 151).

- **Motivação.** Nas teorias da personalidade de uma forma geral há uma busca incessante dos fatores motivacionais. Nesse ponto, Kelly diverge completamente da maioria estudiosos da personalidade e é bastante criticado por isso. Para Kelly, a motivação é algo intrínseco ao ser humano. O simples fato de estar vivo motiva-o a fazer previsões de eventos. Observe o que escreve Hall *et al* (2000, p.333 e 334) a respeito da motivação para Kelly:

(...) Kelly propôs que “motivação” é um construto desnecessário e redundante. Ele tinha duas objeções fundamentais. Primeiro, os modelos motivacionais são usados para explicar por que uma pessoa é ativa ao invés de inerte. Mas, segundo Kelly, as pessoas são ativas por definição, de modo que não precisamos explicar o “porquê” delas serem ativas: elas são ativas porque estão vivas! (...) Segundo, coerente com a ênfase no construtor, Kelly rejeitava os motivos como rótulos que impomos aos outros. Esses rótulos têm mais utilidade para compreendermos a visão de mundo da pessoa que os oferece do que o comportamento da pessoa que está sendo rotulada.

Assim, a Teoria da Personalidade dos Construtos Pessoais de George Kelly baseia-se na idéia de **construto** que são representações intelectuais a respeito de pessoas, coisas ou situações sociais e é utilizado para antecipá-los (no caso de pessoas e coisas, descrevê-los). A base filosófica de sua teoria chama-se **alternativismo construtivo** que assume todas as interpretações atuais do universo como sujeitas a revisões e construções. Utiliza a metáfora **homem-cientista** para descrever como o indivíduo se desenvolve cognitivamente. O homem, assim como o cientista, está, a todo o momento, elaborando e testando hipóteses para aceitá-las ou refutá-las e elaborar novas hipóteses. A **motivação** é algo intrínseco ao ser humano não cabendo justificá-la. Esses quatro conceitos iniciais servirão como norteadores nos estudos do postulado fundamental, do ciclo da experiência e dos corolários dessa teoria mais relevantes para esta pesquisa.

3.5 O Postulado Fundamental e o Ciclo da Experiência

“Os processos de uma pessoa são canalizados pelas formas como tal pessoa antecipa eventos” (KELLY, 1963, p. 46 – Tradução livre).

Esse postulado é o núcleo de toda a teoria de Kelly. A palavra “processos” representa o entendimento que o indivíduo possui do mundo que é conduzido (canalizado) pelo que ele acredita que vai acontecer se tomar determinada atitude (antecipa eventos). O simples fato de colocar o indivíduo diante de um evento faz com que, naturalmente, tente prever o que irá

acontecer se tomar um dado comportamento. Por exemplo, ao se falar de grampeador, a pessoa imagina como ele funciona e formula, provavelmente, a hipótese de que se apertá-lo com as folhas colocadas em determinado local conseguirá grampeá-las. Para testar sua hipótese, precisa de um grampeador, então o compra em uma papelaria. Em seguida, testa esta hipótese e se, de fato, conseguir grampeá-las, ocorrerá uma validação de sua hipótese. Caso contrário, ela busca encontrar o erro de sua hipótese e reformulá-la, como, por exemplo, além colocar as folhas em local apropriado e apertar o grampeador é necessário que o grampeador possua grampos, ampliando o limite de validade de sua hipótese inicial. Tenta grampear novamente e, desta vez, consegue confirmando sua segunda hipótese.

A teoria de Kelly explica o que ocorreu recorrendo ao Ciclo da Experiência (CLONINGER, 1999). Os eventos são antecipados de forma que o indivíduo passa por cinco etapas como descrito a seguir:

- **Antecipação.** É o momento no qual o indivíduo prevê o evento formulando sua hipótese. No exemplo anterior, o evento é fazer o grampeador funcionar. A antecipação ocorre quando acredita que se colocar as folhas em um determinado local do grampeador e apertá-lo, conseguirá grampeá-las. Em relação ao processo ensino-aprendizagem, o evento, normalmente, é aprender um novo conteúdo e a antecipação ocorre naturalmente quando o professor comenta o tema da aula. Os alunos procuram lembrar, de forma espontânea e, mesmo que não se expressem verbalmente, de tudo que já aprenderam, sistematicamente ou não, a respeito daquele tema. Cabe ao professor registrar as hipóteses iniciais dos alunos para que possa definir qual a melhor estratégia a ser seguida na etapa do encontro. A motivação para realizar a antecipação é natural, ou seja, qualquer pessoa que ouça falar de qualquer tema, objeto ou pessoa realiza essa etapa do ciclo, naturalmente.
- **Investimento.** Consiste em investir, de alguma forma, para participar de um evento de forma satisfatória. O investimento, no exemplo, é comprar um grampeador. Aplicando ao processo ensino-aprendizagem, a etapa do investimento refere-se às leituras e pesquisas prévias que o aluno realiza sobre determinado tema que será estudado futuramente.
- **Encontro.** Trata-se do momento em que ocorre o evento, ou seja, no caso do grampeador, do instante em que o indivíduo vai tentar fazer o grampeador funcionar. Em ensino-

aprendizagem, é o momento em que o professor explica o assunto, através de aula expositiva ou de experiências ou de qualquer outra forma. O professor aplica a estratégia que achar mais conveniente para o seu público, levando em consideração as hipóteses iniciais que os alunos apresentaram na etapa da antecipação.

- **Confirmação ou Refutação.** O indivíduo testa suas hipóteses, confirmando-as ou refutando-as. Ao testar o grampeador e verificar que não funcionava, o indivíduo percebeu que não bastava colocar as folhas no local apropriado e apertar o grampeador, ou seja, sua hipótese estava equivocada ou incompleta. Ao analisar e investigar a respeito do grampeador descobre que estão faltando grampos, ou seja, sua nova hipótese passa incluir a colocação de grampos. No caso dos estudantes, ocorre da mesma forma. Por exemplo, em uma aula sobre corrente elétrica, o aluno formula a hipótese de que em um fio, ligado a um circuito elétrico, os elétrons se movem e, em um fio fora do circuito elétrico, os elétrons estão em repouso. Quando questionado a respeito dos modelos atômicos que tem conhecimento lembra-se que, a partir do modelo de Rutherford, os elétrons estão sempre em movimento. Então, conclui que sua hipótese inicial estava em parte equivocada, já que os elétrons do fio fora do circuito também se movimentam e, em parte incompleta, já que o movimento dos elétrons do fio no circuito é um movimento caótico, mas que gera um fluxo de carga. Perceba que o aluno pode ir mais adiante se conseguir compreender que a velocidade média dos elétrons no fio é bastante baixa, mas a corrente elétrica se estabelece no circuito de forma praticamente instantânea, pois a ação do campo elétrico (onda eletromagnética) ocorre de acordo com a velocidade da luz. Às vezes, segundo o próprio Kelly (1963), é necessário participar do ciclo mais de uma vez para se atingir níveis desejáveis.

- **Revisão Construtiva.** O indivíduo se coloca a repensar toda situação e, se for o caso, ampliar o limite de validade de sua hipótese inicial. Agora, sabe ele que, além de colocar as folhas em lugar apropriado e apertar o grampeador, precisa carregá-lo com grampos. Assim, amplia sua hipótese a respeito do funcionamento do grampeador. Da mesma forma, o estudante, quando é colocado para descrever verbalmente ou por extenso, amplia sua hipótese inicial a respeito da corrente elétrica através de uma espécie de auto-avaliação (reconstrução do seu sistema de construtos), ou seja, agora já sabe que o movimento dos elétrons ocorre nos dois fios, no circuito ou fora dele, mas alguns elétrons (elétrons livres) do fio no circuito movem-se ordenadamente. Assim, o indivíduo e o

estudante conseguem ampliar seus conhecimentos, mesmo sem atingir os níveis desejáveis.

É importante lembrar que para testar as novas hipóteses é utilizado novamente o ciclo e isso ocorrerá quantas vezes o indivíduo e o estudante acharem necessário. O Ciclo da Experiência (Figura 5) representa as etapas que um cientista e um indivíduo, de certa forma, utilizam em sua “pesquisa”, formulando suas hipóteses (**antecipação**), pesquisando toda a literatura a respeito do tema em estudo (**investimento**), testando suas hipóteses (**encontro**), confirmando ou refutando suas idéias iniciais (**confirmação ou refutação**) e, finalmente, chegando às suas conclusões (**revisão construtiva**). Assim, a metáfora homem-cientista sugerida por Kelly mostra-se intimamente ligada ao processo de desenvolvimento cognitivo.



Fonte: Cloninger (1999, p. 428).

Figura 05 – As cinco fases do Ciclo da Experiência

As etapas do Ciclo da Experiência têm o intuito de mostrar que, ao vivenciar novas experiências, as pessoas aumentam seus conhecimentos e possibilidades a respeito das situações vivenciadas. É razoável esperar que, ao se utilizar o Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica, se consiga bons resultados em nível de aprendizagem sistematizada, uma vez que a natureza do indivíduo é questionadora e antecipatória como a de um cientista (KELLY, 1963). Como mencionado anteriormente, o objetivo deste trabalho é verificar se, de fato, o Ciclo da Experiência de Kelly, utilizado como instrumento metodológico, é facilitador na aprendizagem do comportamento dual da luz. Finalmente, é importante destacar ainda que Bezerra (2005) obteve grande êxito na aplicação do Ciclo da Experiência de Kelly como instrumento facilitador no processo ensino-aprendizagem com alunos do Ensino Fundamental.

A seguir, serão apresentados os corolários decorrentes do postulado fundamental e uma discussão mais detalhada a respeito daqueles que estão mais intimamente relacionados com o presente trabalho.

3.6 Os Corolários

A autora Cloninger (1999), a título de organização didática, separa os corolários em três blocos como apresentado no quadro 01. É importante ressaltar que a divisão apresentada a seguir possui caráter exclusivamente didático, pois, para Kelly, o indivíduo não escolhe o corolário que vai utilizar, ele simplesmente utiliza, de acordo com sua necessidade.

Quadro 01 – Corolários da Teoria dos Construtos Pessoais.

	Corolário	Enunciado
Processo de Construção	Construção	Uma pessoa antecipa eventos construindo suas cópias.
	Experiência	O sistema de construção de uma pessoa varia à medida que ela constrói sucessivamente a réplica dos eventos.
	Escolha	A pessoa escolhe para si a alternativa de um construto dicotomizado por meio do qual ela pode antecipar a maior possibilidade de ampliação e definição de seu sistema.
	Modulação	A variação no sistema de construção de uma pessoa está limitada pela permeabilidade dos construtos em cujas séries de conveniência as variantes se encontram.
Sistema de Construtos	Dicotomia	O sistema de construção de uma pessoa está composto de um número finito de construtos dicotômicos.
	Organização	Cada pessoa caracteriza-se por desenvolver, para sua conveniência, na antecipação de eventos, um sistema de construção incorporando relações ordinais entre os construtos.
	Fragmentação	Uma pessoa pode empregar, sucessivamente, uma variedade de subsistemas de construção que são inferencialmente incompatíveis entre si.
	Séries	Um construto é conveniente apenas para uma série finita de eventos.
Contexto Social	Individualidade	As pessoas diferem umas das outras na sua antecipação dos eventos.
	Comunidade	Na medida em que uma pessoa emprega uma construção da experiência semelhante à empregada por outra, seus processos psicológicos são semelhantes aos da outra pessoa.
	Sociabilidade	Na medida em que uma pessoa constrói os processos de construção de outra, ela deve desempenhar um papel em um processo social que envolve a outra pessoa.

Fonte: Adaptado de Kelly (1963, p. 103-104), Cloninger (1999, p. 429-435) e Rodrigues (2005, p.40).

A seguir, tem-se o aprofundamento dos corolários que tenham relevância para este trabalho. Essencialmente, destacam-se os Corolários da Construção e da Experiência no Processo de Construção como fundamentais para investigar a compreensão do comportamento dual da luz utilizando o Ciclo da Experiência de Kelly como ferramenta metodológica.

3.7 Processo de Construção

A seguir, serão explicados os corolários da Construção e da Experiência que são os mais relevantes no Processo de Construção e também mais importantes no desenvolvimento desta pesquisa.

3.7.1 Corolário da Construção

Uma pessoa antecipa eventos construindo suas cópias. Aqui, é importante destacar os termos *antecipa* e *cópias* (HALL *et al*, 2000). O primeiro termo refere-se a tentar prever o que vai acontecer quer seja numa situação social, no comportamento de uma pessoa ou em relação a algum fenômeno físico. Diante de qualquer situação ou pessoa ou objeto ou ainda quando lembrado de algo, a atitude primeira do indivíduo é associar construtos a essa pessoa, objeto ou situação. Se alguém falar no seu chefe de trabalho, automaticamente, associará a ele construtos que o definirão como, por exemplo, exigente, sério, competente, pontual etc. O mesmo ocorre no estudo de Física. Quando se fala em comportamento dual da luz a um aluno ou a um grupo de alunos, certamente, irão associar, se já tiveram algum contato, mesmo que superficial, ao termo dual, o comportamento ondulatório ou corpuscular da luz ou então, se não tiveram nenhum contato com o termo, irão imaginar que a luz deve apresentar dois tipos de comportamento, associando a palavra dois à palavra dual ou poderá acontecer qualquer outra coisa dependendo do indivíduo que antecipa o evento “comportamento dual luz”. O fato é que todos antecipam o evento, ou seja, o aluno mais bem inteirado do assunto ou o aluno com conhecimento superficial tentam, à sua maneira, *antecipar* o que vem a ser o comportamento dual da luz e isso ocorre sem a necessidade de uma motivação externa.

O outro termo a ser destacado é *cópia*. Quando, anteriormente, o indivíduo constrói os construtos relacionados ao chefe o que está fazendo é construindo uma cópia de diversas situações envolvendo seu chefe. Quando o aluno associa os termos ondulatório e corpuscular ao comportamento da luz está construindo uma cópia de algo que já viveu anteriormente, ou seja, uma leitura, uma aula ou mesmo uma palestra etc. Da mesma forma, quando o outro aluno associa a palavra dois à dual está fazendo uso da etimologia da palavra para buscar significado naquela frase. Certamente, está repetindo um comportamento que já teve em outro momento.

Assim, a construção do sistema de construção ocorre através da antecipação de eventos, ou seja, tentando prever o que vai acontecer ou tentando descrever algo. Nesse momento, os construtos são construídos pelo indivíduo. A antecipação de eventos ocorre através da construção de suas cópias, ou seja, todas as experiências significativas que a pessoa viveu associadas ao evento serão utilizadas para tentar prevê-lo. Perceba que o papel da experiência torna-se fundamental no processo de construção do sistema de construção do indivíduo. Para um entendimento melhor a respeito do papel da experiência, apresenta-se, a seguir, o Corolário da Experiência.

3.7.2 Corolário da Experiência

O sistema de construção de uma pessoa varia à medida que ela constrói sucessivamente a réplica dos eventos. Segundo Geiwitz (1973, p. 174), “este é o corolário da aprendizagem” e Hall *et al* (2000, p. 338) reforça que “a aprendizagem faz parte do processo geral de antecipação e de reinterpretação no sistema de Kelly”. Ao antecipar eventos, construindo suas cópias, o indivíduo está construindo seu sistema de construção na medida em que associa novos construtos ou rejeita antigos construtos ou remodela-os. Como dito anteriormente, a construção de cópias de eventos está baseada nas experiências já vivenciadas pelo indivíduo. Contudo, este corolário não retrata a interpretação de uma seqüência de eventos em si, mas uma sucessiva interpretação e reinterpretação de um mesmo evento. Nas palavras do próprio Kelly:

(...) Não é o que acontece perto dele que o faz um homem experiente; é a sucessiva construção e reconstrução do que aconteceu, como aconteceu, que enriquece a experiência de vida dele (KELLY, 1963, p.63 – Tradução livre).

Interpretar e reinterpretar um determinado evento faz com que o indivíduo varie, cada vez mais, o seu sistema de construção. O indivíduo que pensa em seu chefe e associa os construtos exigente, sério, competente, pontual, se começar a pensar novamente nele poderá lembrar que, em uma reunião social, o seu chefe se mostrou descontraído, em lugar de sério, e alterar esse construto promovendo assim uma variação no seu sistema de construção. Da mesma forma, o estudante, ao classificar o comportamento dual da luz em ondulatório e corpuscular em um primeiro momento, após uma reinterpretação do evento “comportamento dual da luz”, associa a ela os fenômenos da reflexão, refração, difração e Efeito Fotoelétrico.

Uma próxima revisão poderia incluir novos fenômenos (como interferência e Efeito Compton) ou agrupamento dos fenômenos em ondulatórios e corpusculares. Em seguida, poderia reinterpretar mais uma vez sugerindo que um determinado fenômeno considerado ondulatório passasse a ser considerado corpuscular e vice-versa. De qualquer forma, a interpretação e reinterpretação de um evento fazem o indivíduo variar seu sistema de construção, ampliando, reestruturando ou descartando construtos. Observe que o processo de mudança não segue nenhuma ordem universal de desenvolvimento como na teoria de Freud (CLONINGER, 1999). Ele não diz nada a respeito da mudança porque não há regra a ser seguida a todo instante e em cada evento, ou melhor, a cada interpretação ou reinterpretação de evento, a variação do sistema de construção do indivíduo ocorre naturalmente. A seguir, destacam-se os termos apresentados por Kelly (1963, p. 72-73) como essenciais no entendimento deste corolário:

- **Sistema.** O indivíduo costuma agrupar elementos semelhantes. Para Kelly (1963, p.72), o sistema consiste, justamente, no agrupamento desses elementos nos quais as incompatibilidades e as inconsistências são as menores possíveis. Como serão apresentados mais adiante, os construtos possuem uma relação ordinária atribuída por cada indivíduo, conseqüentemente, a construção é sistemática e possui aspectos de regularidade. Assim como ocorre no processo de ensino-aprendizagem em ciências, a construção para o indivíduo nada mais é do que um refinamento do processo abstração e generalização. É uma forma de correlacionar eventos e não vê-los como únicos. Assim, o que dá forma ao processo de construção são os aspectos de regularidade e correlação entre eventos, é isso que o torna sistematizado.

- **Variação.** As mudanças podem ocorrer em direções as mais diversas possíveis, nem sempre sendo para melhor e nem sempre sendo para uma estabilização. Por exemplo, voltando ao caso do aluno que ouve o professor falar em comportamento dual da luz e associa ao comportamento ondulatório e corpuscular. Ele pode promover uma alteração no seu sistema de construção no sentido de atribuir aos fenômenos de difração e interferência o comportamento ondulatório e atribuir aos fenômenos de reflexão e refração o comportamento corpuscular o que, de acordo com os modelos atualmente aceitos, está equivocado. Contudo, é importante notar que houve uma variação no sistema do aluno, mesmo que não tenha sido na direção que o professor desejava. Por outro lado, a variação no sistema também pode guiar-se em uma direção de estabilização fazendo seus aspectos

básicos resistentes a futuras modificações. Isso é o que desejada, até certo ponto, o professor. Até certo ponto porque o professor de Física quer, em sua maioria, que o aluno possua um alicerce resistente em relação aos conceitos e teorias estudadas, mas que também seja capaz de abandonar uma teoria em favor de outra quando a primeira não mostrar mais sua eficiência.

- **Sucessivamente.** A construção pode ser vista como um processo e como tal possui início e fim. Também pode ser encarada como uma seqüência de eventos, ou seja, a cada evento que o indivíduo vivencia está alterando seu sistema de construção. Assim, a construção é algo que ocorre sucessivamente (evento a evento). Sua principal dimensão é o tempo que é, ele próprio, um processo, um fenômeno. A alteração no sistema de construção de um indivíduo ocorre devido à interpretação e reinterpretação de um mesmo evento como indica este corolário, mas também ocorre devido à seqüência de eventos como indica Kelly (1963, p.73).

- **Réplicas de eventos.** Ao adicionar novos eventos ao registro daqueles que já passaram, o indivíduo tem a oportunidade de considerar aspectos da réplica que conecta o evento recente ao evento antigo e é essa relação de semelhança ou diferença que causa a variação do sistema, quer seja ampliando, diminuindo ou reafirmando construtos. Cada evento é único. É a abstração desses eventos que possibilita as pessoas encontrarem suas réplicas. O aluno que já assistiu a uma palestra sobre o comportamento dual da luz, ao ser questionado, recorre ao conhecimento adquirido anteriormente para conectar o novo evento com o antigo, ou seja, para construir a réplica do evento que está prestes a vivenciar.

Ao procurar entender estes quatro principais termos, tem-se uma compreensão mais ampla do Corolário da Experiência. O *sistema* de construção de um indivíduo, ou seja, o conjunto de elementos em que as incompatibilidades e inconsistências são minimizadas, *varia* (isto é, amplia, se reforça ou se descarta alguns elementos) à medida que ela constrói *sucessivamente* a *réplica de eventos* (ou seja, baseia-se em experiências anteriores para alterar seu sistema de construção por semelhança ou por diferença e repetindo essa construção e reconstrução diversas vezes, tem-se uma variação cada vez maior do sistema de construção). Contudo, nem sempre essa variação ocorre para melhor ou para uma estabilização. Certamente, se acompanhada pelo professor durante o processo de ensino-aprendizagem ou pelo

psicoterapeuta durante um tratamento, é possível tentar “guiar” essa variação do sistema de construção na direção esperada.

Mas, afinal, qual o significado da experiência? Segundo Kelly (1963, p. 174 – Tradução livre), “nossa experiência é a porção do universo que acontece conosco – isto é, que é construída sucessivamente por nós – e o aumento da experiência é uma função, não da variedade de eventos que nós construímos, ou do tempo gasto para construí-los, mas da sucessiva revisão do nosso sistema de construção na direção geral do aumento de sua validade”. Perceba que não basta apenas vivenciar uma experiência para alterar o sistema de construção. A revisão do sistema de construção ocorre à medida que se constrói sucessivamente a réplica de eventos. Então, tão importante quanto vivenciar uma experiência é revisá-la, no sentido de construí-la e reconstruí-la muitas vezes e, a cada instante, provocar uma variação no sistema de construção.

Ainda dois pontos destacados por Kelly (1963, p. 171) são, primeiro, nem toda experiência é necessariamente válida e, segundo, não é a extensão da experiência que garante a validade dos construtos pessoais de um indivíduo ou a alteração no seu sistema de construção. Para explicar o primeiro ponto ele cita, como exemplo, um oficial que tinha conhecimento a respeito de uma série de fatos que eram inverdades e foi descrito por um psicólogo como detentor de uma grande e versátil ignorância. Certamente, o oficial tinha vivenciado uma série de eventos e interpretados de forma bem particular. O oficial possui uma variedade de experiências inválidas, portanto, se seu sistema de construtos continuar a desorientá-lo poderá ser levado a ter atitudes inadequadas, apesar de toda sua experiência. Seria como a “crença da bolinha” na qual o aluno acredita, apesar de ter vivenciado várias discussões a respeito de átomo, nas aulas de Física e de Química, que o átomo é uma bolinha. Apesar de ter experimentado algumas experiências a respeito do que é um átomo, seu sistema de construtos sempre o leva a crer que o átomo é uma bolinha tal como uma bolinha de gude, em menores proporções.

Para discutir o segundo ponto que retrata a duração da experiência, Kelly (*ibidem*, p.171) relata a experiência de um diretor de escola que possuía a experiência de um ano repetida trinta vezes sem se permitir variações, ou seja, novas experiências que lhe proporcionassem novos conhecimentos. Seria como um professor que repete a mesma aula seis vezes em uma manhã, sem permitir que os alunos o interrompam e sem considerar as particularidades de

cada turma, não se permitindo experimentar. O professor repete a mesma experiência seis vezes a cada manhã, assim como o diretor de escola repetiu a mesma experiência de um ano por trinta vezes, e em nenhum dos casos, por mais tempo que dure a experiência, ocorre variação no sistema de construção, ou seja, não ocorre aprendizagem (ou ocorre pouco).

Assim, a experiência é a porção do universo que acontece com cada indivíduo, ou melhor, que é construída ou reconstruída sucessivamente por cada pessoa. Experimentar uma variedade de experiências não garante uma variação para melhor no sistema de construção assim como viver uma única experiência por um longo tempo também não traz grandes contribuições para a evolução do sistema de construção. A variação do sistema vai ocorrer devido às construções e reconstruções das experiências, ou seja, tão importante quando participar de uma experiência é reconstruí-la.

Ao construir e reconstruir uma experiência e causar variação no seu sistema de construção, o aluno está aprendendo algo novo, portanto, pode-se dizer que a experiência tem profundas implicações na aprendizagem. O Corolário da Experiência juntamente com o Corolário da Construção fornece o que vem a ser aprendizagem, dentro desta teoria. De fato, se se aceita que um indivíduo antecipa eventos construindo suas cópias e que seu sistema varia na medida em que antecipa sucessivamente réplicas de eventos, o que ele está fazendo se não promovendo sua aprendizagem? Essa visão antecipatória da aprendizagem é inovadora e destoante das teorias da personalidade e também das teorias da aprendizagem. Nestes dois casos, tenta-se definir aprendizagem levando-se em consideração a motivação (CLONINGER, 1999 e HALL *et al*, 2000). Como dito anteriormente, a motivação é inerente ao ser humano, o indivíduo se sente motivado a antecipar eventos simplesmente porque está vivo e os presencia. Perceba que, com a natureza antecipatória de sua teoria, Kelly não se preocupa com o que é aprendido nem com o que não é aprendido, sua preocupação é como ocorre a aprendizagem. Assim, constata-se a natureza essencialmente cognitivista da Teoria da Personalidade dos Construtos Pessoais. A construção da personalidade baseia-se na aprendizagem (na sucessiva construção de réplicas de eventos). Certamente, é de se esperar que uma teoria tão intimamente conectada à aprendizagem forneça bons resultados quando aplicada ao processo ensino-aprendizagem como será constatado mais adiante neste trabalho.

Enfim, para um entendimento do Corolário da Experiência é preciso a compreensão dos termos mais essenciais como *sistema*, *variação*, *sucessivamente* e *réplicas de eventos*, além de

desvendar o significado da experiência e suas implicações para a aprendizagem. Como dito anteriormente, falar que o sistema de um indivíduo varia ao se construir sucessivamente réplicas de eventos é dizer que o conjunto de elementos cujas incompatibilidades e inconsistências são minimizadas pode variar (para melhor ou não, tendendo a se estabilizar ou não) na medida em que constrói e reconstrói cópias do mesmo evento. Contudo, nem a participação de diversas experiências, nem a duração extensa de uma mesma experiência garantem a variação de um sistema para melhor. Assim, a experiência toma lugar fundamental na variação de um sistema de construção que nada mais é do que a própria aprendizagem, uma vez que essa variação é ocasionada pela construção sucessiva das réplicas de eventos.

4. INVESTIGANDO A PROPOSTA DE ENSINO

A abordagem apresentada nesta pesquisa é qualitativa na medida em que é baseada no ambiente natural, ou seja, a sala de aula, como fonte de coleta de dados e tem o pesquisador como principal instrumento de coleta de dados. Além disso, os dados são descritivos, há ênfase na preocupação com o processo, o pesquisador tem como foco o “significado” que os alunos dão aos conceitos abordados e a análise dos dados tende a seguir um processo indutivo. O presente trabalho também possui características etnográficas, pois o pesquisador redescobriu o problema durante a pesquisa uma vez que, ao pensar em abordar apenas o Efeito Fotoelétrico, percebeu que o problema era mais amplo, era da compreensão da natureza dual da luz e também porque todo o trabalho foi realizado em campo pelo próprio pesquisador e foram utilizados dois métodos diferentes de coleta de dados (LÜDKE e ANDRÉ, 1986). A metodologia qualitativa desta pesquisa, como será descrita a seguir, é baseada no Ciclo da Experiência discutido na seção 3.5 e por isso enfoca o desenvolvimento individual de cada aluno. A preocupação deste trabalho não foi o quantitativo de alunos, mas se foi possível variar o sistema de construção de cada um deles submetendo-os ao ciclo. A seguir, serão apresentados os dados relevantes da amostra da pesquisa.

A pesquisa foi realizada com alunos de duas escolas da rede particular de ensino da cidade de Recife e envolveu uma terceira escola, também da rede particular de ensino, que foi utilizada como local da intervenção didática por possuir o ambiente adequado e os recursos necessários disponíveis para a prática. Foram convidados 22 alunos para participarem da pesquisa, sendo 18 alunos da 2ª série do Ensino Médio do colégio A e 4 alunos da 3ª série do Ensino Médio do colégio B. Contudo, apenas 8 alunos da escola A e 3 alunos da escola B participaram de todas as etapas da pesquisa, todos com idade entre 15 e 17 anos. O critério utilizado para convidar os alunos foi o grau de interesse em aprender coisas novas apresentado pelos mesmos durante o 1º semestre do ano letivo de 2005, no caso do colégio A, e durante o ano letivo de 2004 e o 1º semestre letivo de 2005, no caso do colégio B. Dentre os alunos convidados, havia alunos com baixo rendimento escolar, com rendimento mediano e com rendimento alto, mas todos estavam interessados em aprender coisas novas. Garantir este interesse foi fundamental para ter certeza da participação da maioria (entre aqueles que foram para aula 1) até o final da pesquisa. Portanto, o grupo formado foi um grupo heterogêneo em relação ao conhecimento científico a respeito de temas relacionados com Física como se pode verificar nas respostas dos pré-testes. Formar o grupo pesquisado com alunos da 2ª e 3ª séries

do Ensino Médio justifica-se na medida em que se pretendeu avaliar se as experiências vividas pelos alunos influenciariam na variação de seu sistema de construção como propõe Kelly (1963). O intuito foi de verificar como os alunos dessas diferentes séries se comportariam diante da tentativa de compreensão de conceitos relativos à Física Moderna como no trabalho de Coelho (1995), mais especificamente, em relação ao comportamento dual da luz. A diferença no quantitativo de alunos também é justificada pela diferença no quantitativo de alunos dos dois colégios. O colégio A tem 7 turmas da 2ª série do Ensino Médio com cerca de 60 alunos cada, tendo assim um universo amostral muito maior que o colégio B, que possui apenas 1 turma da 3ª série do Ensino Médio, com cerca de 30 alunos.

A exclusão de alunos da 1ª série do Ensino Médio é justificada pelo fato do conteúdo abordado exigir pré-requisitos como a noção de diferença de potencial, período e frequência (de ondas) entre outros que o programa dos dois colégios não contemplam na referida série pelo menos até o momento da intervenção (ver anexos A e B). É importante deixar claro que seria possível realizar um trabalho com esses alunos desde que a discussão conceitual em relação aos pré-requisitos fosse realizada. Como o objetivo deste trabalho não era trabalhar com esses pré-requisitos, essa pesquisa foi deixada para uma outra oportunidade.

4.1 Aplicação da Proposta

A pesquisa foi estruturada em forma de intervenção, utilizando as cinco etapas do Ciclo da Experiência, antecipação, investimento, encontro, confirmação ou reconfirmação e revisão construtiva, distribuídas em três aulas, sendo a primeira e terceira com duração de 1 hora e 40 minutos e a segunda aula com duração de 2 horas (como mostram os planos de aulas nos apêndices A, B e C). A parte expositiva das três aulas foi apresentada com o uso do datashow e do quadro. Também foram realizadas experiências de fácil elaboração, como produção de ondas estacionárias em uma corda, formação da figura de interferência luminosa com um laser e um fio de cabelo e colisão entre bolinhas de gude. Em relação às etapas do ciclo da experiência, as aulas foram divididas da seguinte forma:

Aula 1. *Antecipação e Investimento.* Compareceram a esta aula 16 alunos, sendo 13 alunos da escola A (2ª série do Ensino Médio) e 3 alunos da escola B (3ª série do Ensino Médio). O objetivo da primeira etapa do ciclo, a *antecipação*, foi de fazer com que os alunos construíssem réplicas de eventos semelhantes aos que iriam vivenciar, ou seja, fazer com que

eles lembrassem de aulas, seminários, palestras, trabalhos de pesquisa já realizados com suas participações a fim de gerar expectativas (criação de hipóteses) sobre conceitos relativos ao tema abordado e, em particular, o comportamento dual da luz. Além disso, esse primeiro encontro também tinha o objetivo de incentivar os alunos na busca de mais informações a respeito do tema a ser estudado. Antes de dar início à aula, os alunos foram avisados que as aulas seriam filmadas. A aula iniciou-se com a apresentação da pesquisa e os devidos agradecimentos à participação de todos. Em seguida, ocorreu a aplicação do pré-teste que constava de 8 perguntas subjetivas, sendo a primeira a respeito de sua experiência anterior com o tema e as restantes relacionadas com conceitos físicos referentes ao comportamento dual da luz e, em particular, em relação ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico (Apêndice D). Estas perguntas foram elaboradas a partir de grandezas físicas ou definições consideradas relevantes para o entendimento do comportamento dual da luz e, mais especificamente, do Efeito Fotoelétrico. Esta relevância foi constatada a partir de textos do Ensino Médio e do ciclo básico do Ensino Superior (ver Apêndice E). Após as respostas dos pré-testes, sortearam-se letras entre os alunos que serviram para identificá-los nas diversas atividades a fim de deixá-los menos inibidos quando tiveram que se identificar em alguma atividade. Os alunos foram convidados a descreverem simultaneamente, em um cartaz colado no quadro, as características e fenômenos relacionados com as partículas e com as ondas identificando suas colocações com suas respectivas letras. O próximo passo foi uma breve leitura das respostas para verificar as hipóteses prévias criadas, tentando não fornecer ainda nenhum indício das respostas aceitas de acordo com os modelos vigentes. Tentou-se compreender as hipóteses criadas pelos alunos para descrever partícula e para descrever onda. Neste momento, encerrava-se a primeira etapa do ciclo, a *antecipação*, cujo intuito era fazer com que os alunos criassem suas hipóteses, previamente.

Para garantir o cumprimento da segunda etapa, o *investimento*, os alunos receberam o texto 1 de Ben-Dov (1996) – ver anexo C – e foi pedido que fizessem a leitura durante a aula anotando as dúvidas em papel específico recebidos por eles. Como já estava no final da aula, a leitura completa foi realizada por quase todos, contudo, não houve anotações de dúvidas. Pediu-se àqueles que não terminaram a leitura que o fizessem em casa e trouxessem as dúvidas na próxima aula. Foi entregue a todos o texto 2 de Ben-Dov (1996) – ver anexo D – complemento do texto 1, e pedido que todos lessem e notassem as dúvidas para serem recolhidas e discutidas na aula seguinte. Além disso, com o intuito de garantir que o investimento fosse cumprido, sugeriu-se que os alunos realizassem uma pesquisa a respeito de

Efeito Fotoelétrico para descobrir algo mais sobre o comportamento dual da luz. Após o final da aula, os alunos fizeram bastantes perguntas destacando-se duas que se referiam ao texto 1 e uma que se referia aos fenômenos ondulatórios.

Aula 2. Encontro. Compareceram a esta aula 12 alunos, sendo 9 alunos da escola A (2^a série do Ensino Médio) e 3 alunos da escola B (3^a série do Ensino Médio). O objetivo desta etapa foi estabelecer as principais diferenças entre fenômenos ondulatórios e fenômenos corpusculares (relativo a partículas), além de caracterizar onda e partícula. O planejamento desta aula (Apêndice B) teve de ser alterado em virtude das dúvidas apresentadas no final da aula anterior. A aula iniciou-se pedindo aos alunos as anotações sobre as dúvidas dos textos 1 e 2. Contudo, somente um aluno entregou com duas dúvidas suas e uma, de um outro colega. Todas as dúvidas se referiam aos textos. Em seguida, deu-se início as devidas explicações a respeito das dúvidas da aula anterior. O momento seguinte foi a aula expositiva (com experimentos e simulações) a respeito do Efeito Fotoelétrico. A experiência do Efeito Fotoelétrico de Philip Lenard e suas expectativas foram apresentadas seguidas da hipótese que Einstein formula para explicar tal experiência. As características de ondas e de partículas foram descritas bem como os fenômenos associados a elas como reflexão, refração, interferência e difração, no caso das ondas, e colisões, no caso das partículas. Para elucidar melhor as características de uma onda, como a não propagação de matéria, seu comprimento de onda e sua frequência, foram produzidas ondas estacionárias em uma corda. Para uma melhor compreensão dos fenômenos da difração e da interferência luminosa foi, realizada a experiência com um fio de cabelo e um laser. A colisão de partículas foi retratada com bolinhas de gude. Em seguida, explicou-se a experiência do Efeito Fotoelétrico de acordo com a hipótese de Einstein e com as idéias apresentadas a respeito de ondas e partículas. No último momento da aula, discutiram-se algumas aplicações do Efeito Fotoelétrico como o aparelho de CD (foi mostrado um aparelho aberto e localizada a região da fotocélula) e o fotômetro (aparelho utilizado por fotógrafos para medir a intensidade de luz). Novamente, após o término da aula, alguns alunos apresentaram dúvidas a respeito das discussões apresentadas.

Aula 3. Validação e Revisão Construtiva. Compareceram a esta aula 11 alunos, sendo 8 alunos da escola A (2^a série do Ensino Médio) e 3 alunos da escola B (3^a série do Ensino Médio). O objetivo desta aula foi fazer com que os alunos confirmassem ou rejeitassem a hipótese construída por eles na etapa da *antecipação* ou, ainda, criassem uma nova hipótese, além de, ao revisar tudo que foi aprendido, promover, de fato, a variação no seu sistema de

construção. Mais uma vez, o planejamento da aula (Apêndice C) teve de ser alterado em virtude das dúvidas apresentadas após o término da aula 2. A aula iniciou-se com uma revisão a respeito dos conceitos e teorias abordadas na aula 2. As características das ondas e das partículas foram confrontadas. Foi apresentado um quadro contendo os problemas relacionados ao Efeito Fotoelétrico com as expectativas da teoria ondulatória e com as explicações da teoria corpuscular. Nesta etapa, os alunos foram questionados sobre suas dúvidas iniciais a fim de validar ou refutar de vez suas hipóteses iniciais. A seguir, foi realizada uma espécie de “simulação” utilizando os alunos fazendo o papel das placas metálicas, de fontes de luz vermelha e violeta e dos elétrons com o intuito de se fazer uma *revisão construtiva* a respeito do fenômeno como descrito adiante:

Simulação → os alunos foram separados associando-se sua altura à energia dos fótons e elétrons que representavam. Três alunos baixos foram selecionados para representar os fótons da fonte de luz vermelha (onde cada fóton tem menor energia) e três alunos altos foram selecionados para representar os fótons da luz violeta. Dois alunos foram utilizados para representar as placas metálicas e ficaram segurando fios conectados a um multímetro e a uma caixa de sapatos que fez o papel da bateria que acelera/desacelera os fotoelétrons. Os três alunos restantes passaram a representar os elétrons que seriam arrancados, o mais baixo representou o elétron mais próximo da superfície, enquanto o mais alto representou o elétron mais interno. A “simulação” começou com a fonte de luz vermelha “enviando” um fóton em uma unidade de tempo e questionando os alunos que efeito deveria se esperar. Em seguida, a fonte enviou os três fótons na mesma unidade de tempo anterior e, mais uma vez questionados, responderiam, novamente, que nada ocorreria. Ao trocar a fonte para a violeta, perceberam que o fenômeno passava a ocorrer independentemente da quantidade de fótons que eram emitidos na unidade de tempo considerada. Quanto ao elétron arrancado, era freado com a inversão da polaridade da bateria (caixa de sapatos).

Em seguida, foi pedido aos alunos que colocassem novamente as características e os fenômenos associados às ondas e às partículas em um novo cartaz colado no quadro se identificando através das letras que receberam na aula 1. A etapa seguinte seria responder individualmente e por escrito duas perguntas, a primeira sobre as diferenças entre onda e partícula e a segunda a respeito do Efeito Fotoelétrico, o que foi feito oralmente a julgar pelo nível de conhecimento já apresentado pelos alunos. Finalmente, os alunos foram convidados a responder o pós-teste que constava das mesmas questões do pré-teste (Apêndice D). Ao tentar

responder a questão 6, alguns alunos se mostraram angustiados na busca pela resposta correta, então, por julgar que aquela questão se referia a tópicos que não foram trabalhos diretamente no Ciclo da Experiência e não atrapalhou o andamento das atividades devido aos conhecimentos prévios dos alunos (ver anexos A e B para ver os assuntos tratados por eles anteriormente no colégio), foi explicado a todos o significado de potencial elétrico e diferença de potencial elétrico abordados naquela questão. Um aluno teve que sair mais cedo da aula, não tendo tempo de responder a última questão.

4.2 Análise dos Resultados

Os materiais coletados para esta pesquisa foram a produção nos cartazes, o pré-teste e o pós-teste divididos em dois grupos. O primeiro grupo refere-se à produção nos cartazes e o segundo retrata os pré-testes e os pós-testes. Esta divisão foi feita para a categorização dos dados. Para manter o sigilo da identidade dos alunos eles foram numerados de 1 a 11, sendo os alunos de 1 a 3 da escola B (3^a série do Ensino Médio) e os alunos de 4 a 11 da escola A (2^o série do Ensino Médio).

Para categorizar os resultados dos pré-testes e pós-testes separaram-se as respostas dos alunos por perguntas para depois fazer a análise das respostas e distribuí-las em categorias organizadas em ordem crescente de validade e tomando como referência os livros de Nussenzweig, volumes 1 (1981) e 4 (1998), de Halliday e Resnick, volumes 1 e 2 (1994), e Halliday *et al*, volume 4 (1995) que foram escolhidos por serem livros do ciclo básico do ensino superior com certo respaldo na comunidade científica. Os nomes das categorias foram escolhidos de forma a serem auto-explicativos. Como as categorias foram organizadas de forma crescente e numeradas de 1 até, no máximo, 7, então uma categoria com número maior indica uma maior proximidade da resposta a que se pretendia chegar.

A análise dos cartazes consistiu, primeiramente, na identificação de quem tinha escrito cada frase ou compartilhado da frase escrita por outra pessoa. Em seguida, foram comparados as características e fenômenos associados à onda e à partícula, antes e depois da aplicação do Ciclo da Experiência para a criação das categorias que serviram para classificar as frases em relação às características e fenômenos das ondas e das partículas. Assim, as categorias elaboradas foram:

1. Não fez nenhum comentário.
2. Definiu equivocadamente.
3. Apresentou apenas a definição ou citou apenas um fenômeno/característica.
4. Apresentou a definição e/ou citou um fenômeno/característica.
5. Apresentou a definição e/ou citou dois ou mais fenômenos/características.

Aqui, entende-se por fenômeno ondulatórios a reflexão, refração, difração e interferência e como característica a distribuição contínua de matéria através do espaço em oposição ao movimento de matéria e distribuição discreta de energia. O fenômeno tipicamente corpuscular é a colisão, além disso, as partículas possuem como característica a distribuição discreta de energia, o movimento de matéria (quantidade de movimento) e a não ocorrência dos fenômenos ondulatórios citados anteriormente. A definição de partícula utilizada como parâmetro foi:

Um objeto poderá ser representado como partícula (isto é, como massa puntiforme) se cada pequena parte dele (digamos, cada átomo) mover-se exatamente do mesmo modo (HALLIDAY e RESNICK, 1994, v. 1, p. 11).

A definição de onda abordada sugere que:

(...) onda é uma larga distribuição de energia, preenchendo o espaço pelo qual ela passa (HALLIDAY e RESNICK, 1994, v.2, p. 109).

A partir destas duas definições foram classificadas as frases escritas nos cartazes de acordo com as categorias descritas anteriormente.

A seguir, apresentam-se as perguntas utilizadas no pré-teste e pós-teste (Apêndice D) e as categorias criadas para cada agrupamento de respostas bem como suas justificativas.

Pergunta 1. Você já assistiu alguma aula ou palestra ou fez algum trabalho de pesquisa sobre Efeito Fotoelétrico?

O intuito deste questionamento foi estabelecer a quantidade de réplicas de eventos que os alunos já haviam participado para relacionar a quantidade de experiências vividas com o seu

sistema de construção antes e após a aplicação do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica. Assim, as categorias foram divididas em cinco:

1. Não participou de nenhum evento (aula, palestra ou pesquisa).
2. Participou de um evento (aula, palestra ou pesquisa).
3. Participou de dois eventos (aula, palestra ou pesquisa).
4. Participou de três eventos (aula, palestra ou pesquisa).
5. Participou de quatro eventos (aula, palestra ou pesquisa).

Pergunta 2. As ondas estão presentes no nosso cotidiano nas mais diversas situações. Por exemplo, ao dedilharmos as cordas de um violão, produzimos ondas nas cordas que fazem vibrar o ar e se propagam até chegar aos nossos ouvidos produzindo a sensação de som. Os sons emitidos por uma mesma corda variam de acordo com o lugar onde a pressionamos contra o braço do violão alterando assim duas características essenciais, frequência e comprimento de onda. Escreva o que você entende por frequência de uma onda e comprimento de onda.

Esta pergunta se refere a dois conceitos considerados como pré-requisitos essenciais para o entendimento do comportamento ondulatório da luz, a frequência e o comprimento de onda. Então, para a análise, esta pergunta será dividida na parte 1, envolvendo a discussão a respeito da frequência e na parte 2, que se refere ao comprimento de onda.

Pergunta 2 – Parte 1. Para estabelecer as categorias em ordem crescente a partir do conjunto de respostas dos alunos a respeito da frequência estabeleceu-se como referência a definição apresentada por Halliday (1994) no volume 2 que sugere que a frequência é a quantidade de oscilações completas executadas em um intervalo de tempo. A partir daí, dividiu-se as respostas em cinco categorias:

1. Citou exemplo (som, luz), mas não conseguiu definir.
2. Confundiu com período, comprimento de onda, intensidade ou oscilações.
3. Não definiu, mas forneceu a relação de proporcionalidade entre frequência e comprimento de onda.
4. Sabe que algo (oscilação, nó, vale, comprimento de onda) se repete, mas usou o termo “espaço” de tempo.

5. Sabe que algo se repete (oscilação, nó, vale, comprimento de onda) e usou o termo intervalo de tempo.

Como dito anteriormente, os nomes das categorias são praticamente auto-explicativos, contudo, a seguir, há um breve detalhamento do que elas representam. Na categoria 1 foram incluídas todas as respostas que procuram fornecer exemplos de tipos de onda ao invés de se preocupar em definir frequência. Na categoria 2 foram colocadas as respostas em que havia confusão com outras grandezas do movimento ondulatório como período, comprimento de onda e intensidade da onda. Este tipo de resposta dá a impressão que o aluno já estudou o conceito, mas que ainda não conseguiu sua compreensão total. A categoria 3 refere-se as respostas nas quais o aluno prefere se resguardar em uma relação de proporcionalidade entre onda e frequência do que estabelecer uma definição propriamente dita da grandeza. As respostas que se enquadram na categoria 4 usam o termo “espaço” de tempo em lugar de intervalo de tempo para se referir a uma unidade de tempo em que ocorre a repetição característica da onda. Finalmente, a categoria 5 refere-se as respostas que estão dentro do esperado de acordo com a definição estabelecida anteriormente.

Pergunta 2 – Parte 2. A segunda parte desta questão refere-se ao comprimento de onda que é definido segundo Halliday (1994), no volume 2, como sendo a menor distância na qual a configuração da onda repete-se completamente em um dado instante. Assim, as respostas foram divididas em cinco categorias:

1. Não respondeu.
2. Confundiu com a grandeza tempo.
3. Não conseguiu definir, mas sabe que tem haver com distância.
4. Sabe que é a medida da distância entre duas cristas ou dois vales.
5. Sabe que é a medida da distância entre dois pontos quaisquer da onda até ocorrer repetição.

Na categoria 1 estão os alunos que não responderam. Na categoria 2 encontram-se respostas confusas envolvendo a grandeza tempo. As respostas nas quais os alunos utilizam as palavras distância ou espaço, mas, ainda assim, não conseguem definir coerentemente comprimento de onda estão localizadas na categoria 3. As categorias 4 e 5 são bem parecidas, mas possuem uma diferença essencial. Na categoria 4 estão as respostas que retratam comprimento de onda

como a distância entre somente entre duas cristas ou entre dois vales, enquanto que, na categoria 5, as respostas referem-se a distância medida até a repetição da onda a partir de qualquer ponto. Portanto, a categoria 5 é mais abrangente e define melhor comprimento de onda.

Pergunta 3. Quando começamos o nosso estudo de mecânica, passamos a nos acostumar com o termo partícula. Por exemplo, estudamos uma partícula executando um movimento retilíneo e uniforme ou a colisão de partículas ou as forças de contato e de interação à distância trocadas entre partículas etc. Enfim, desde o nosso primeiro contato com a Física, fazemos uso desse termo, partícula. Quais as características essenciais de uma partícula? O que diferencia algo que é considerado partícula de algo que não é considerado partícula?

Esta questão retrata um dos pontos fundamentais deste trabalho que é a definição e caracterização do que vem a ser partícula. A definição utilizada como parâmetro de comparação foi a mesma utilizada anteriormente na análise dos cartazes:

Um objeto poderá ser representado como partícula (isto é, como massa puntiforme) se cada pequena parte dele (digamos, cada átomo) mover-se exatamente do mesmo modo (HALLIDAY e RESNICK, 1994, v.1, p. 11).

A partir desta definição e das respostas dos alunos foram estabelecidas sete categorias descritas a seguir:

1. Não conseguiu definir.
2. Algo que possui tamanho desprezível.
3. Citou uma ou mais características (energia concentrada em um ponto, “transporte” de quantidade de movimento, não sofre interferência, ocorre colisões).
4. Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma.
5. Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma e cita uma característica (energia concentrada em um ponto, “transporte” de quantidade de movimento, não sofre interferência, ocorre colisões).
6. Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma e cita duas características (energia concentrada em um ponto, “transporte” de quantidade de movimento, não sofre interferência, ocorre colisões).

7. Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma e cita três características (energia concentrada em um ponto, “transporte” de quantidade de movimento, não sofre interferência, ocorre colisões).

As respostas confusas que usam termos desconexos foram concentradas na categoria 1. A associação de massa concentrada em um único ponto do espaço, ou melhor, que possui tamanho desprezível em relação às distâncias envolvidas na situação, foi concentrada nas respostas da categoria 2. Algumas respostas apresentaram apenas algumas características das partículas, sem tentar defini-las. Estas respostas agrupam a categoria 3. A apresentação das definições mais próximas das citadas anteriormente estão nas respostas reunidas na categoria 4. As categorias 5, 6 e 7 apresentam as respostas que possuem definição satisfatória e uma, duas ou três características, respectivamente. Entendam-se como características e fenômenos que ocorrem com as partículas as colisões ou como ocorre o transporte de energia (distribuída discretamente).

Pergunta 4. A preocupação com o estudo da luz data da Antiguidade Grega. Desde então, surgiram várias teorias a respeito do que é formada a luz, ou seja, da natureza da luz. Entretanto, é somente no século XX que surge uma teoria capaz de explicar uma maior quantidade de fenômenos relacionados com a luz. Esse modelo para explicar a natureza da luz se baseia na idéia de fóton. O que você sabe a respeito dessa idéia de fóton?

Outro ponto fundamental para o entendimento do comportamento dual da luz é a compreensão do que vem a ser um fóton, tema desta questão. Segundo Nussenzveig (1998), no seu volume 4, fóton é o nome dado (em 1926, por Gilbert N. Lewis) ao quantum de energia proposto por Einstein, ou seja, a partícula que compõe a luz e concentra pacotes iguais de energia. Tomando como parâmetro tal definição juntamente com a análise de todas as respostas pode-se dividi-las em sete categorias:

1. Não respondeu.
2. Não conseguiu definir ou confundiu com outros termos (elétrons).
3. Repetiu a definição apresentada na aula 2.
4. Definiu a partir do modelo atômico.
5. Associou à partícula.
6. Associou aos termos partícula e energia.

7. Associou aos termos partícula e energia e cita exemplo (Efeito Fotoelétrico).

Naturalmente, a ausência de respostas daqueles que nunca tinham ouvido falar do fóton estão agrupadas na categoria 1. As respostas confusas, com termos desconexos ou associando a outras partículas foram colocadas na categoria 2. Na aula 2 foi apresentada a definição de fóton retirada do trabalho de Einstein (STACHEL, 2001) que apareceu de forma idêntica nas respostas concentradas na categoria 3. Algumas respostas se basearam no modelo atômico para tentar definir fóton, compondo a categoria 4. As respostas que apresentaram fóton como, apenas, uma partícula estão localizadas na categoria 5. Aquelas que, além disso, traçaram uma conexão com o transporte de energia foram colocadas na categoria 6 e, finalmente, as respostas que definiram corretamente e citaram o exemplo de onde podemos “observá-los” (Efeito Fotoelétrico) foram colocadas na categoria 7.

Pergunta 5. Em 1905, Einstein publicou seu trabalho intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a geração e transformação da luz” na revista alemã *Annalen der Physik* no qual ele explicou o fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico. Essas explicações lhe renderam o prêmio Nobel de 1921. Contudo, o trabalho gerou bastante controvérsia na comunidade científica por admitir um comportamento inesperado para a luz e o conseqüente surgimento dos chamados fotoelétrons. O que você sabe sobre fotoelétrons?

Esta questão retrata o Efeito Fotoelétrico, tema importante deste trabalho uma vez que é o único fenômeno abordado no qual a luz apresenta comportamento de partículas. Os fotoelétrons são os elétrons arrancados da placa metálica pela incidência de luz (violeta ou radiação ultravioleta, dependendo do material da placa metálica) segundo Nussenzveig (1998) no volume 4. Confrontando-se esta idéia com as respostas, obteve-se as seguintes categorias:

1. Não respondeu.
2. Não conseguiu definir.
3. Sugeriu que são elétrons liberados por causa da luz (fótons) de um corpo quaisquer.
4. Sugeriu que são elétrons liberados por causa da luz (fótons) de uma placa metálica.

Na categoria 1, encontram-se os alunos que não conseguiram responder. Seguindo a mesma lógica das outras categorizações, na categoria 2 estão as respostas confusas, desconexas que tentaram definir fotoelétron pela etimologia da palavra. As categorias 3 e 4 são bem

parecidas, sendo diferenciadas pela utilização da placa metálica nas respostas da categoria 4 enquanto que as respostas da categoria 3 não especificam o material que vai perder os elétrons.

Pergunta 6. No estudo de eletricidade, somos apresentados a grandezas novas como campo elétrico, potencial elétrico e diferença de potencial (ddp). No nosso cotidiano, podemos citar uma série de fenômenos envolvendo essas grandezas como o surgimento de um raio, formação da imagem em uma televisão, o estabelecimento de corrente elétrica nos diversos eletrodomésticos etc. Explique o que você entende por potencial elétrico e por diferença de potencial (ddp).

Esta pergunta foi incluída no pré-teste e pós-teste por abordar pré-requisitos importantes como potencial elétrico e diferença de potencial no estudo do fenômeno do Efeito Fotoelétrico, mais especificamente do potencial de corte. Contudo, estas grandezas físicas não foram o tema central do Ciclo da Experiência durante a intervenção. Além disso, por julgar que o conhecimento anterior (todos já haviam estudado estas grandezas – ver anexos A e B) dos alunos a respeito de diferença de potencial era suficiente para entender o tópico de potencial de corte e pela angústia que alguns alunos demonstraram ao deixar de responder esta questão durante o pós-teste, foi esclarecido a todos, naquele momento, o significado das duas grandezas invalidando, portanto, qualquer tipo de análise para esta pergunta.

Pergunta 7. A experiência do Efeito Fotoelétrico foi realizada por Heirinch Hertz, em 1887. Hertz observou que o fenômeno deixava de acontecer quando ele alterava o potencial elétrico do circuito atingindo o chamado potencial de corte. Constatou também que o fenômeno cessava quando alterava as características da fonte emissora de luz de modo a atingir uma frequência de corte. Comente o que você sabe a respeito de potencial de corte e frequência de corte.

Dois termos tratados particularmente no fenômeno do Efeito Fotoelétrico são abordados aqui, o potencial de corte e a frequência de corte. Para realizar a categorização, as respostas foram separadas em duas partes. A parte 1 retrata o potencial de corte e a parte 2, a frequência de corte.

Pergunta 7 – Parte 1. O entendimento do potencial de corte está intimamente relacionado com o comportamento corpuscular da luz no fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Para Nussenzveig (1998), no seu volume 4, o potencial de corte (ou diferença de potencial retardadora) é a diferença de potencial capaz de frear o fotoelétron antes que ele atinja a placa receptora de elétrons. Assim, de acordo com esta definição e fazendo uma comparação das respostas apresentadas, foram definidas 4 categorias:

1. Não respondeu.
2. Não conseguiu definir ou utilizou outras grandezas para definir (potência).
3. Associou a um potencial mínimo para o elétron ser arrancado da placa.
4. Associou ao potencial (ou ddp) necessário para frear o fotoelétron (energia cinética final nula).

A categoria 1 reúne aqueles alunos que não conseguiram responder. Na categoria 2 estão concentradas as respostas confusas e desconexas que utilizaram outras grandezas físicas como potência. A categoria 3 engloba as respostas que interpretaram a palavra “corte” como sendo mínimo e entendiam que era a partir deste potencial que o elétron era arrancado da placa. Finalmente, a categoria 4 concentra as respostas que mais se aproximaram da definição dada anteriormente.

Pergunta 7 – Parte 2. O outro conceito que também possui uma ligação profunda com o Efeito Fotoelétrico é a frequência de corte que ressalta o caráter corpuscular da luz, neste fenômeno. Segundo Halliday *et al* (1995), no volume 4, a frequência de corte é a frequência limite na qual o fenômeno do Efeito Fotoelétrico deixa de ocorrer para valores menores do que ela. As respostas foram divididas em cinco categorias:

1. Não respondeu.
2. O fenômeno deixa de acontecer aos poucos quando se altera a fonte de luz.
3. O fenômeno deixa de acontecer quando se altera a fonte de luz.
4. Frequência mínima para arrancar um fotoelétron (para que ocorra Efeito Fotoelétrico).
5. Frequência mínima da luz (radiação) para arrancar um elétron ou fotoelétron (para que ocorra Efeito Fotoelétrico) de uma placa metálica.

Na categoria 1, foram colocados os alunos que não conseguiram responder. Na categoria 2, encontram-se as respostas referentes a interrupção do Efeito Fotoelétrico pela troca de fonte de luz, contudo o fenômeno vai parando gradualmente. A categoria 3 difere da 2 no que diz respeito ao tempo necessário para o fenômeno cessar, aqui, cessa instantaneamente, ao se trocar a fonte de luz. As categorias 4 e 5 referem-se as respostas da frequência mínima para que os elétrons possam ser arrancados diferindo apenas em relação à utilização da placa metálica para observação do fenômeno sendo interrompido na categoria 5.

Pergunta 8. Em 1900, Planck resolve um problema que intrigava a comunidade científica, o problema da radiação do corpo negro. Para resolver tal questão, é forçado a admitir, contra as suas convicções, a quantização da energia, sendo considerado o precursor da Teoria Quântica e doando seu nome a uma constante famosa, a constante de Planck. Como podemos definir quantum de energia? Onde podemos observar a constante de Planck?

Esta questão retoma o questão 4 que retrata o fóton. Aqui, é perguntado ao aluno diretamente a respeito de quantum de energia com o intuito de haja uma correlação com a idéia de fóton na questão anterior. Também é ressaltada a constante de Planck que desempenha papel fundamental em toda Física Moderna, contudo, ela é destacada com o objetivo de se estabelecer sua relação com a energia de um quantum de luz. Como foi colocado na pergunta 4, o quantum de energia é o fóton, ou melhor, são pacotes de energia em forma de partícula. As categorias associadas às respostas foram:

1. Não respondeu.
2. Associou à energia, mas não conseguiu definir.
3. Associou à energia.
4. Associou à energia. Colocou a fórmula da energia de um quantum equivocada.
5. Associou às idéias de pacote e energia. Constante encontrada no cálculo da energia.

Na categoria 1, estão os alunos que não conseguiram responder. Na categoria 2, as respostas foram desconexas ou confusas, mas associadas à energia. Na categoria 3, as respostas foram associadas à energia de forma satisfatória, mas não foi feito nenhum comentário a respeito da constante de Planck. Na categoria 4 estão as respostas que fizeram a associação com energia de forma coerente, mas, ao tentar comentar a respeito da constante de Planck, foi escrita uma expressão equivocada. Finalmente, a categoria 5 apresenta as respostas que relacionam o

quantum a uma quantidade fixa de energia e apresentam a expressão correta para o cálculo dessa energia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, pretende-se apresentar os resultados da pesquisa e as discussões pertinentes ao trabalho. Antes de tudo, é importante destacar que este trabalho não tem o intuito de analisar os construtos desenvolvidos por cada aluno como ocorre no trabalho de Rodrigues (2005) a respeito de experimentos envolvendo energia, pois isso exigiria um acompanhamento individual, quase psicoterapêutico. A preocupação aqui é com a variação no sistema de construção de cada aluno e em que direção ela ocorre, por isso os resultados apresentados não são influenciados pelo quantitativo de alunos, uma vez que esta alteração deve ocorrer sempre que o indivíduo se submete a revisões sucessivas. Independentemente do número de alunos, todos passam por revisões quando colocados diante de um evento (KELLY, 1963).

Antes da análise dos dados coletados com os cartazes e os testes, tem-se uma análise do comportamento e evolução dos alunos a cada etapa do ciclo.

A etapa da *antecipação* ocorreu em dois momentos, durante o preenchimento dos pré-testes e durante a produção no cartaz. Os alunos, de uma forma geral, demonstraram certa angústia por não saber responder algumas perguntas, a ponto de quererem trocar informações entre eles com o receio de não chegar à resposta correta, mas, como se pode perceber na análise dos testes, isso não ocorreu (caso contrário, haveria um deslocamento de todas as respostas para uma única categoria). Acredita-se que esta atitude é natural, uma vez que eles são cobrados por seus pais e pela sociedade, de uma forma geral, para apresentarem sempre os melhores resultados. Na produção do cartaz, mostraram-se mais à vontade já que tinham liberdade para trocar informações com outros colegas e também tinham a opção de não escrever nada e compartilhar da opinião de outra pessoa. Esta atividade, por proporcionar interação entre eles, ajudou alunos menos participativos a se envolverem no processo o que foi demonstrado na etapa seguinte.

Para garantir a realização da etapa do *investimento*, foi entregue o texto 1 (Anexo C) para os alunos lerem durante a aula. Aparentemente, todos leram a exceção do aluno 10 que pareceu olhar para o texto, sem realizar nenhuma leitura. A realização da etapa anterior foi crucial para a realização do investimento, pois aguçou a curiosidade deles a ponto de quererem as repostas corretas para as perguntas do pré-teste. Para continuar esta etapa, os alunos receberam o texto 2 (Anexo D) para lerem em casa e se comprometeram em realizar uma

pesquisa prévia sobre Efeito Fotoelétrico. Acredita-se que, de fato, somente alguns tenham realizado a leitura, pois se apresentaram com dúvidas que foram esclarecidas antes de prosseguimento com o plano de aula (Apêndice B). A constatação de que nem todos leram o texto 2 (Anexo D) apareceu no momento das explicações das dúvidas que alguns nem sabiam do que se tratava. Atribui-se a não leitura por parte de alguns poucos alunos ao desestímulo que os jovens têm apresentado em relação à leitura, como é percebido nas avaliações internacionais que o Brasil se submete.

A etapa do *encontro* foi estruturada em uma aula expositiva com a realização de experimentos e simulações. Durante este momento, somente os alunos mais participativos colocaram suas dúvidas, exceto no momento da realização dos experimentos que, até aqueles alunos mais tímidos, participaram efetivamente. Acredita-se que a participação nos experimentos está associada à idéia de interação que pertence ao cotidiano do jovem moderno. Também se acredita que quanto mais interativa uma atividade de ensino-aprendizagem maior a quantidade de alunos participativos.

A etapa da *confirmação* ou *refutação* ocorre durante o *encontro* e a apresentação das idéias trabalhadas na aula expositiva em forma de “resumo” investigando os problemas e soluções apresentados bem como revendo os fenômenos analisados. A participação nesta etapa foi consideravelmente melhor, devido a dois motivos, primeiramente, a turma já apresentava uma certa unidade e, segundo, porque as hipóteses iniciais precisavam ser confrontadas com o modelo científico, os alunos sentiam a necessidade de encontrar as respostas “verdadeiras”. A simulação descrita no capítulo anterior também representou importante nesta etapa do Ciclo da Experiência, uma vez que envolvia mais uma atividade de interação provocando a participação de todos, já que se trata da forma como a realidade se apresenta para o jovem moderno. Foram feitas várias perguntas indicando a procura de um ajuste para as hipóteses elaboradas inicialmente. Para consolidar o aprendizado, só faltava revisar todo o processo o que foi feito na etapa seguinte.

A *revisão construtiva* consistiu de dois momentos. Um momento de produção coletiva dos cartazes que serviu para os alunos trocarem idéias entre si com o intuito de revisar tudo que já haviam aprendido a respeito de partícula e onda, criando o alicerce fundamental de sua nova hipótese (ou da antiga). Em seguida, os alunos responderam o pós-teste sem muitas dificuldades, exceto pela questão 6 como já foi comentado antes e será analisado mais

adiante. É importante destacar que, nesta etapa, os alunos se apresentaram mais tranquilos, em relação à aplicação do pré-teste, porque já haviam construído um bom nível de conhecimento científico e já estavam com um bom grau de interação.

Agora, observe a análise de dados.

A análise dos resultados está dividida em duas etapas, a análise da produção nos cartazes e análise dos pré-testes e pós-testes, na qual procurou-se verificar se houve variação no sistema de construção e em que direção ocorreu. Contudo, antes de começar a análise dos dados, convém comentar a respeito do comportamento dos alunos durante as três aulas.

Nos três encontros, os alunos reservavam para o término da aula o momento de tirar dúvidas com o professor. Esta postura foi mais acentuada na primeira aula. Acredita-se que esse comportamento é natural por dois motivos. Primeiramente, as aulas foram filmadas e a presença de um cinegrafista inibe a postura dos alunos que, quando resolviam perguntar algo durante a aula, chamavam o professor em particular e falavam baixo. Em segundo lugar, o grupo incluiu alunos de duas instituições diferentes, fazendo com que ficassem receosos em comentar ou perguntar algo. Esta postura se deve ao fato da falta de unidade do grupo, uma vez que, além dos alunos serem oriundos de duas escolas distintas, os alunos do colégio A pertenciam a turmas diferentes. Acredita-se que o problema foi a falta de unidade e a inibição, porque, no terceiro encontro, esta dificuldade já havia sido reduzida consideravelmente.

Uma outra observação digna de nota é o fato de que praticamente os mesmos alunos expressaram suas dúvidas durante as aulas (raríssimas vezes) e após o término da aula (na maioria das vezes). Os alunos que expressaram seus questionamentos foram 1, 4, 5, 9 e 11. O restante dos alunos não se mostraram com dúvidas em nenhum momento da aula, nem após o término da aula. A justificativa deste comportamento, além da inibição própria da idade, deve se encontrar no fato de que a variação no sistema de construção é algo individual, ou seja, próprio de cada pessoa como assinala o Corolário da Individualidade que não é objeto de estudo neste trabalho.

5.1 A Produção nos Cartazes

A produção nos cartazes teve como objetivo, no primeiro momento, o levantamento das hipóteses relacionadas com as características, fenômenos e definições de onda e partícula, ou seja, verificar se as experiências anteriores vivenciadas por cada aluno foram relevantes a ponto de ser lembrada naquele momento (*antecipação*). Além disso, serviu para um primeiro confronto das hipóteses formuladas por eles, uma vez que todos os alunos escreveram e discutiram simultaneamente. O cartaz produzido no último encontro teve papel fundamental na última etapa do ciclo, a *revisão construtiva*, que tem o intuito de acomodar os novos conhecimentos (construtos). Segundo o Corolário da Experiência, a construção de sucessivas réplicas é que causa variação no sistema de construção.

Para uma melhor compreensão, as categorias definidas na seção 5.2 do capítulo anterior serão avaliadas da seguinte forma, referentes às afirmações registradas nos cartazes:

Quadro 02 – Descrição e avaliação das categorias dos cartazes.

	Categorias	Avaliação
1	Não fez nenhum comentário.	Insuficiente
2	Definiu equivocadamente.	Insuficiente
3	Apresentou apenas a definição ou citou apenas um fenômeno/característica.	Suficiente
4	Apresentou a definição e/ou citou um fenômeno/característica.	Suficiente
5	Apresentou a definição e/ou citou dois ou mais fenômenos/características.	Suficiente

A tabela 01 mostra a categoria em se enquadra à resposta de cada aluno, antes e após a aplicação do Ciclo da Experiência.

Tabela 01 – Categorização da produção nos cartazes.

	Onda		Partícula	
	Pré-Ciclo	Pós-Ciclo	Pré-Ciclo	Pós-Ciclo
Aluno 1	1	5	1	5
Aluno 2	2	5	1	5
Aluno 3	1	5	1	5
Aluno 4	3	5	2	5
Aluno 5	3	5	2	5
Aluno 6	3	5	2	5
Aluno 7	3	5	1	4
Aluno 8	1	5	2	5
Aluno 9	3	5	1	5
Aluno 10	3	5	3	5
Aluno 11	4	5	1	4

Uma breve inspeção visual na tabela anterior leva à aparente conclusão de que quase a totalidade de alunos conseguiu atingir o nível de desempenho muito bom. Para uma efetiva conclusão observe a análise percentual para os dois casos, das ondas e das partículas.

A figura 06, apresentada a seguir, retrata a produção nos cartazes a respeito das características, fenômenos e definição de uma onda.

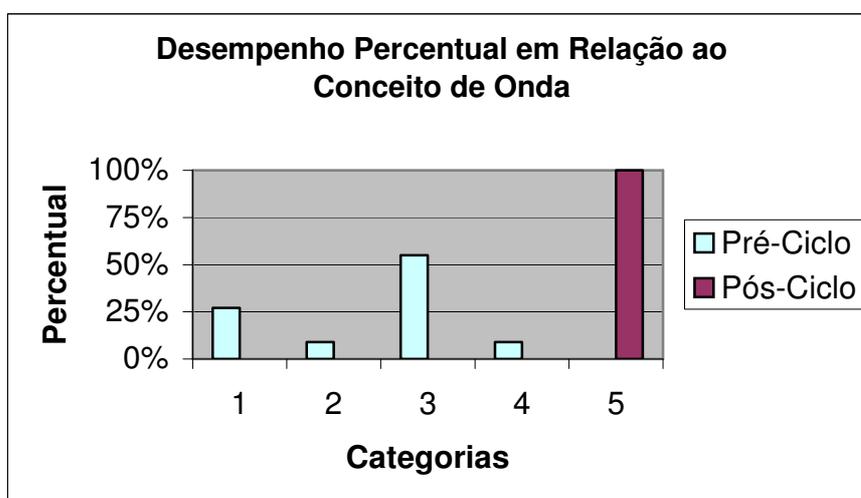


Figura 06 – Gráfico de desempenho, no cartaz, em relação ao conceito de onda.

Observando a figura anterior, percebe-se que, antes da aplicação do ciclo, 55% das afirmações dos alunos apresentaram conceito mediano e apenas 9% (afirmação de um único aluno) apresentou conceito bom. Constatou-se que, apesar de nenhum aluno conseguir fazer afirmações com conceito muito bom, mais da metade destas afirmações (64%) possuíam uma boa noção a respeito das particularidades de uma onda. Provavelmente, isto se deve ao fato de que os 3 alunos do colégio B estudaram ondas no primeiro semestre do ano letivo de 2005 (como mostra o anexo B) e também 3 alunos do colégio A participaram de um ciclo de eventos sobre Física Moderna em seu colégio como apresenta o resultado da análise da pergunta 1 a ser realizada na próxima seção.

Após a aplicação do ciclo, 100% das afirmações dos alunos passam a possuir conceito muito bom, sugerindo que todos passaram a ter uma excelente idéia do que é uma onda bem como dos fenômenos e características da mesma. Observe como os alunos se referiram às ondas:

“Se caracteriza pelo transporte de energia e não de matéria” (oc).

“Energia se propaga uniformemente pelo meio” (oc).

O termo “uniformemente” utilizado na segunda frase parece querer dizer continuamente uma vez que os alunos no mesmo cartaz colocaram que partícula possui energia concentrada em um único ponto do espaço querendo retratar a distribuição discreta de energia.

A variação no sistema de construção dos alunos, no que diz respeito à idéia de onda, foi bastante significativa, uma vez que passaram não somente a defini-la corretamente, mas também a perceber quais fenômenos são tipicamente ondulatórios. Então, percebe-se o excelente resultado na utilização do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica.

A figura 07 apresenta o desempenho dos alunos em relação ao entendimento do que vem a ser uma partícula bem como outros aspectos relacionados a ela.

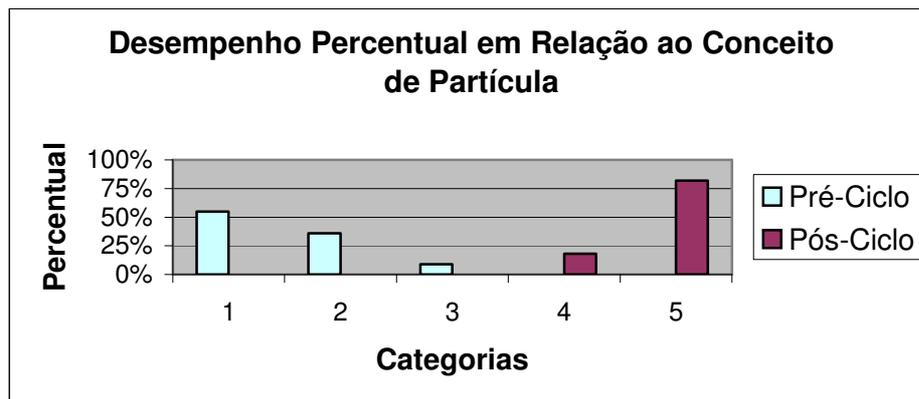


Figura 07 – Gráfico de desempenho, no cartaz, em relação ao conceito de partícula.

A figura anterior mostra a dificuldade que, inicialmente, os alunos possuíam em definir adequadamente o conceito de partícula. A maior parte deles, aproximadamente 55%, preferiram não fazer nenhum comentário. Dos alunos que tentaram definir partícula, cerca de 36%, acabaram, possivelmente por influência dos professores de Ensino Médio e dos livros didáticos, colocando que partícula é algo que possui tamanho desprezível em relação às dimensões envolvidas na situação. Observe o comentário escrito no cartaz e assinado por dois alunos:

“Dimensão inexpressível (em relação ao espaço)” (oc).

A figura 07 ainda mostra a evolução de forma bastante clara, onde as afirmações dos alunos passam das categorias 1, 2 e 3 para as categorias 4 e 5 atingindo um percentual de 82% das afirmações com conceito muito bom. Assim como no caso do tratamento dado à onda, o ciclo se mostrou bastante eficaz, uma vez que apenas 18% das afirmações não atingiram o conceito muito bom, classificando-se como bom. Observe algumas colocações pós-ciclo:

“Uma partícula só é partícula quando todos seus pontos encontram-se no mesmo movimento” (oc).

“Energia concentrada em um único ponto do espaço” (oc).

Em relação ao comentário inicial houve uma evolução considerável na forma de definir partícula como se pode constatar, mesmo assim, ainda há uma pequena confusão entre partícula de uma forma geral e partícula de luz, fóton como se observa na segunda afirmação.

Contudo, é importante lembrar que esta é uma atividade realizada simultaneamente e que muitos alunos não escreveram novas frases, simplesmente concordaram com as colocações dos colegas. Com o intuito de realizar uma análise mais apurada da variação do sistema de construção foi realizada a análise dos pré-testes e dos pós-testes, produzidos individualmente, apresentadas a seguir.

5.2 Análise dos Pré-Testes e Pós-Testes

A análise apresentada aqui é realizada para cada pergunta realizada durante o pré-teste e o pós-teste. Como a produção deste material aconteceu individualmente, tem-se a pretensão de verificar se ocorreu variação no sistema de construção para cada um deles, bem como se esta variação ocorreu para melhor e, ainda, se ocorreu em uma direção de estabilização desejada. Os resultados são apresentados para grupo como um todo e para cada pergunta como se verifica adiante.

Pergunta 1. Como foi dito no capítulo anterior, esta pergunta tem o intuito simplesmente de verificar se os alunos já haviam tido contato com aulas, palestras, seminários etc. a respeito do comportamento dual da luz. Então, as categorias criadas na seção 5.2 designam apenas a quantidade de eventos que o aluno participou.

- Categoria 1 – Não participou de nenhuma aula, palestra ou pesquisa.
- Categoria 2 – Participou de um evento (aula, palestra ou pesquisa).
- Categoria 3 – Participou de dois eventos (aula, palestra ou pesquisa).
- Categoria 4 – Participou de três eventos (aula, palestra ou pesquisa).
- Categoria 5 – Participou de quatro eventos (aula, palestra ou pesquisa).

Na tabela 02, apresentam-se as respostas dos alunos já com suas devidas categorias e, na figura 8, a distribuição percentual dessas categorias.

Tabela 02 – Categorização da Pergunta 1.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	2	3
Aluno 2	1	2
Aluno 3	1	2
Aluno 4	1	2
Aluno 5	1	2
Aluno 6	1	2
Aluno 7	2	4
Aluno 8	1	2
Aluno 9	2	3
Aluno 10	1	2
Aluno 11	3	5

Observe que, como era de se esperar, a maioria dos alunos passou da categoria 1 para a categoria 2, ou seja, não haviam participado de nenhum evento envolvendo o tema comportamento dual da luz e passaram a experimentar as aulas ministradas pelo pesquisador como mostra a figura 8.

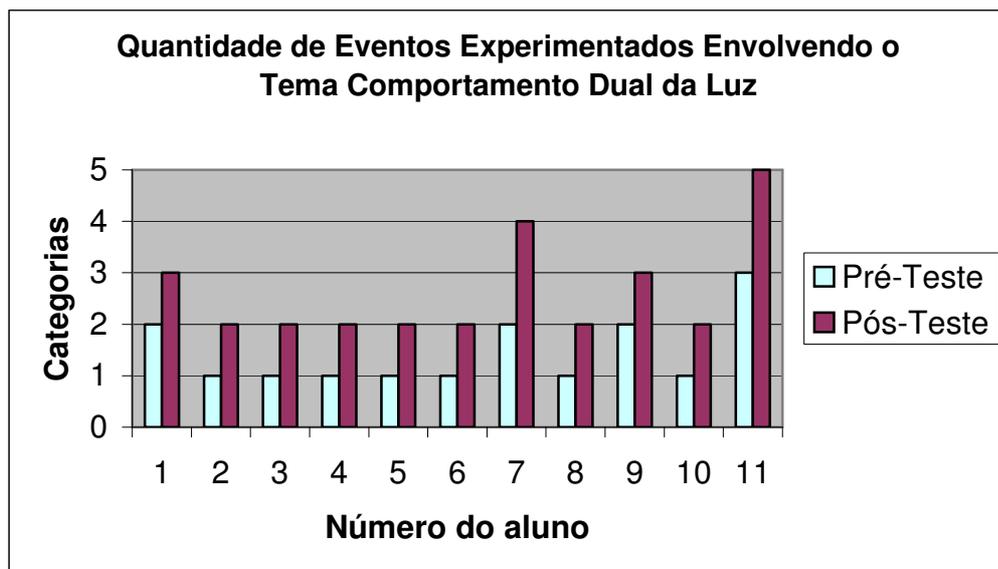


Figura 08 – Gráfico do número de eventos experimentados por cada aluno.

No pré-teste, cerca de 64% dos alunos (7 alunos) nunca tinham ouvido falar do tema em discussão, 27% (3 alunos) tinham participado de um único evento e apenas 1 aluno (9%) já

havia participado de dois eventos. Após a aplicação do ciclo, todos os alunos passaram, pelo menos, para a categoria 2, participaram de um evento. É de se destacar que o aluno 11, antes da intervenção didática, já havia participado de dois eventos e após as três aulas já havia participado de quatro eventos. Nas suas respostas, colocou que já havia estudado o assunto no semestre anterior, havia participado de um seminário promovido em seu colégio sobre Física Moderna e esteve presente em uma aula sobre Efeito Fotoelétrico, na premiação da Olimpíada Brasileira de Física 2004 (evento que aconteceu entre a primeira e a terceira aula). Este aluno foi colocado em evidência, pois, ao participar de tantos eventos, acredita-se que passou por vários processos de *revisão construtiva* o que lhe permitiu uma visão mais ampla sobre o tema.

Pergunta 2 – Parte 1. Esta parte da pergunta 2 refere-se à definição da frequência de uma onda. Apresentam-se, na tabela 03, as respostas agrupadas em categorias, para se ter uma idéia geral a respeito da evolução conceitual de cada aluno. Para facilitar a análise, as categorias sugeridas na seção 5.2 serão agrupadas da seguinte forma:

Quadro 03 – Descrição e avaliação das categorias sobre frequência (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Citou exemplo (som, luz), mas não conseguiu definir.	Insuficiente
2	Confundiu com período, comprimento de onda, intensidade ou oscilações.	Insuficiente
3	Não definiu, mas forneceu a relação de proporcionalidade entre frequência e comprimento de onda.	Insuficiente
4	Sabe que algo (oscilação, nó, vale, comprimento de onda) se repete, mas usou o termo “espaço” de tempo.	Suficiente
5	Sabe que algo se repete (oscilação, nó, vale, comprimento de onda) e usou o termo intervalo de tempo.	Suficiente

Tabela 03 – Categorização da Pergunta 2 – Parte 1.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	2	5
Aluno 2	1	4
Aluno 3	2	4
Aluno 4	2	5
Aluno 5	1	5
Aluno 6	2	3
Aluno 7	5	5
Aluno 8	2	5
Aluno 9	4	5
Aluno 10	2	2
Aluno 11	5	5

A tabela 03 mostra, de uma forma geral, uma elevação das categorias nas respostas de quase todos os alunos como, por exemplo, o aluno 5 que se desloca da categoria mais baixa para a mais alta. Observe a variação de suas respostas:

Frequência de uma onda → “a quantidade de som, de luz e/ou de vibração emitidos em um determinado espaço de tempo” (oc).

Frequência de uma onda → “números de ciclos numa unidade de tempo” (oc).

A primeira resposta foi a do pré-teste. Perceba que o aluno sabe alguns exemplos de tipos de onda, sabe que frequência é medida em certo intervalo de tempo, mas não consegue defini-la. Provavelmente, o aluno já participou de algum evento anteriormente onde foi trabalhada a idéia de frequência (aula no 1^a série do Ensino Médio), mas não conseguiu variar seu sistema de construção de tal forma a integrar o conceito de frequência. Esta integração ocorre quando participa do Ciclo da Experiência criando e testando a hipótese descrita acima sobre o que vem a ser frequência para, depois, reformulá-la e chegar a sua segunda resposta. Um exemplo típico da eficiência do Ciclo da Experiência.

Em seguida, a figura 09 mostra, percentualmente, a evolução do grupo.

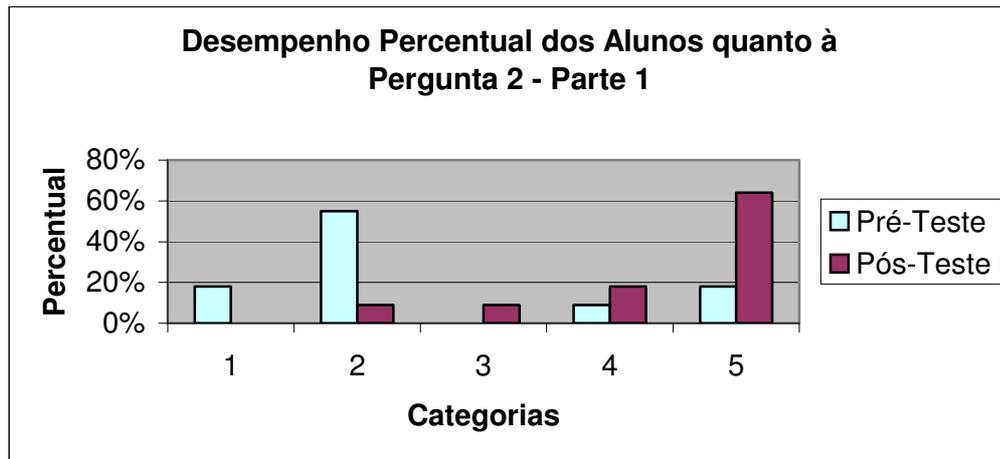


Figura 09 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de frequência.

Como a tabela 03, a figura 09 mostra que cerca de 18% das respostas situadas inicialmente na categoria 1, ou seja, considerada insuficiente (as respostas desta categoria são exemplos de tipo de onda sem contudo tentar definir frequência), deslocam-se para categorias superiores mostrando uma variação positiva no sistema de construção. Entretanto, ainda cerca de 9% das respostas, mesmo após aplicação do ciclo, continuam na categoria 2, ou seja, continuam como respostas insatisfatórias. Isso se deve ao fato de que o sistema de construção só sofre variação se for submetido a revisões sucessivas. A simples presença diante da experiência não garante uma mudança no sistema como foi comentado no capítulo 4. O restante das respostas, cerca de 91%, passaram a ter um conceito de mediano para muito bom, havendo uma concentração de 64% no conceito muito bom, mais uma vez dando respaldo à aplicação do ciclo.

Pergunta 2 – Parte 2. Esta parte da pergunta 2 refere-se ao comprimento de onda, conceito que se mostra como fundamental no estudo dos fenômenos ondulatórios. Seguindo o mesmo procedimento das análises anteriores, primeiramente, apresenta-se a tabela 04 mostrando a classificação das respostas de acordo com as categorias da seção 5.2 que, para facilitar a análise, serão associadas aos conceitos descritos a seguir:

Quadro 04 – Descrição e avaliação das categorias sobre comprimento de onda (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Não respondeu.	Insuficiente
2	Confundiu com a grandeza tempo.	Insuficiente
3	Não conseguiu definir, mas sabe que tem haver com distância.	Insuficiente
4	Sabe que é a medida da distância entre duas cristas ou dois vales.	Suficiente
5	Sabe que é a medida da distância entre dois pontos quaisquer da onda até ocorrer repetição.	Suficiente

Tabela 04 – Categorização da Pergunta 2 – Parte 2.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	4	5
Aluno 2	3	4
Aluno 3	4	5
Aluno 4	2	4
Aluno 5	3	5
Aluno 6	2	5
Aluno 7	4	4
Aluno 8	3	5
Aluno 9	3	4
Aluno 10	1	5
Aluno 11	4	4

Uma primeira inspeção na tabela 04 indica que, exceto para dois alunos que se mantiveram na mesma categoria, houve um crescimento geral em relação às suas categorias iniciais fornecendo um indício de que ocorreu uma melhora significativa na compreensão do que vem a ser o comprimento de onda. Para entender melhor o que ocorreu, observe a figura 10:

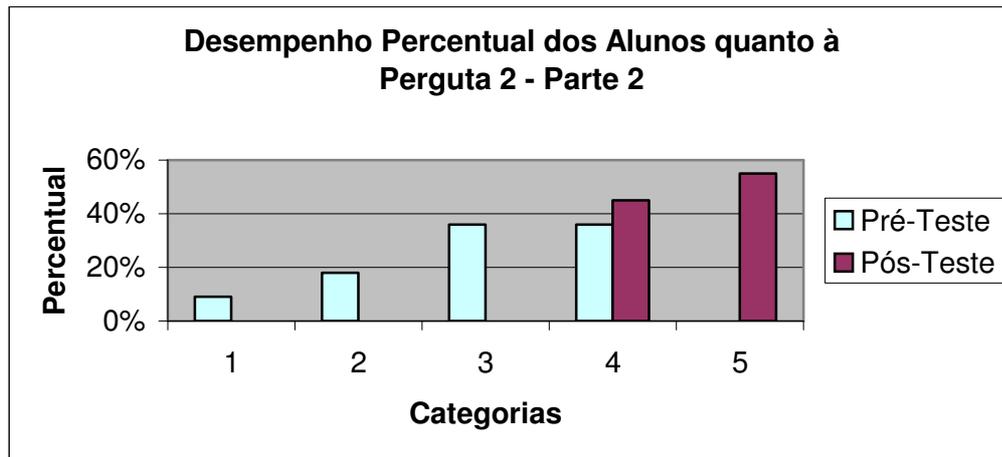


Figura 10 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação a comprimento de onda.

Diferentemente do conceito de frequência, que todos os alunos das duas escolas já haviam estudado em séries anteriores, o conceito de comprimento de onda só havia sido estudado pelos 3 alunos do colégio B. De acordo com as categorias da seção 5.2, espera-se que o aluno consiga definir comprimento de onda para ser colocado, pelo menos, na categoria 4. Observa-se que, de fato, isto acontece, após a aplicação do ciclo. Inicialmente, somente cerca de 36% das respostas possuem um conceito bom representado pela categoria 4 e o restante delas estão agrupadas em categorias inferiores. Contudo, a aplicação do ciclo provoca um deslocamento acentuado para as categorias 4, com cerca de 45% das respostas, e 5, com cerca de 55% das respostas. Perceba a variação no sistema de construção do aluno 6 com suas respostas antes e após a aplicação do ciclo, respectivamente:

Comprimento de onda → “é o ‘tamanho’ da onda, o tempo que passa de uma para que a outra seja emitida” (oc).

Comprimento de onda → “é o tamanho que a onda tem ‘antes de começar’ a repetir (‘a distância entre duas cristas’)” (oc).

Perceba que a primeira resposta é confusa, enquadrando-se na categoria 2. O aluno sabe que tem haver com distância (talvez, pela nomenclatura usada – comprimento de onda), mas não consegue definir, confunde com a grandeza tempo que, em sua resposta, mais parece ter haver com o período. Entretanto, em sua segunda resposta, faz uso de suas próprias palavras para definir adequadamente comprimento de onda, passando a ocupar a categoria 5.

O exemplo do aluno 6 serve para mostrar que novamente a utilização do ciclo trouxe resultados bastante positivos, pois outros alunos tiveram desempenho parecido.

Curiosamente, os resultados a respeito de comprimento de onda foram melhores que os resultados de frequência de uma onda o que não era esperado, uma vez que todos os alunos já haviam estudado o conceito de frequência em anos anteriores. A explicação para tal resultado é o nível de abstração um pouco mais alto que o conceito de frequência possui em relação ao comprimento de onda, pois sua compreensão depende da idéia de tempo em contraposição à idéia de comprimento apresentada no conceito de comprimento de onda. Lidar com espaço é trabalhar com algo concreto, perceptível aos sentidos. Entretanto, o tempo não se relaciona com os sentidos básicos do indivíduo. A necessidade da busca de algo concreto é nítida na resposta de vários alunos que utilizaram a expressão “espaço de tempo” em lugar de intervalo de tempo. A palavra espaço dá sempre a segurança do concreto.

Pergunta 3. Esta pergunta refere-se ao conceito de partícula, que já foi analisada anteriormente, na produção dos cartazes. Portanto, a comparação deste resultado com o anterior forneceu resultados positivos no que se refere à produção de cartazes e, mais ainda, em relação à aplicação do Ciclo da Experiência que é o alvo deste trabalho. Inicialmente, na tabela 05, estão as respostas dos alunos devidamente categorizadas conforme a seção 5.2. Contudo, assim como já foi feito nas análises anteriores e com o intuito de facilitar a análise, foram atribuídos conceitos às categorias como descrito a seguir:

Quadro 05 – Descrição e avaliação das categorias sobre partícula (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Não conseguiu definir.	Insuficiente
2	Algo que possui tamanho desprezível.	Insuficiente
3	Citou uma ou mais características (energia concentrada em um ponto, “transporte” de quantidade de movimento, não sofre interferência, ocorre colisões).	Suficiente
4	Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma.	Suficiente
5	Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma e cita uma característica.	Suficiente
6	Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma e cita duas características.	Suficiente
7	Sabe que é quando todos os pontos do corpo se movem da mesma forma e cita três características.	Suficiente

Tabela 05 – Categorização da Pergunta 3.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	2	3
Aluno 2	2	6
Aluno 3	2	6
Aluno 4	1	5
Aluno 5	2	7
Aluno 6	1	5
Aluno 7	2	4
Aluno 8	2	7
Aluno 9	1	5
Aluno 10	2	7
Aluno 11	2	4

Antes de prosseguir, alguns comentários se fazem necessários. As categorias de 4 a 7 foram estabelecidas com o intuito de diferenciar os mais distintos grupos de respostas, contudo, qualquer uma delas representa bem o objetivo deste trabalho. Obviamente, os alunos que atingiram categorias superiores conseguiram ter uma noção mais ampla a respeito das características, fenômenos e definição em relação à partícula. Na análise primeira da tabela anterior, percebe-se que apenas um aluno não conseguiu atingir uma das categorias desejadas (o aluno 1), mas, ainda assim, verifica-se seu crescimento conceitual uma vez que passou da categoria 2 para a 3, sendo esta última a categoria na qual o aluno não define partícula, mas cita características. Isto se justifica no caso particular deste aluno, pois foi o aluno que apresentou maior relutância em aceitar a definição de partícula durante os três encontros. Certamente, seu sistema de construtos em relação a este conceito estava estabilizado a ponto de se tornar difícil uma alteração.

Os resultados são mais bem representados na figura 11, que inclui a análise do percentual de respostas agrupadas em cada categoria.

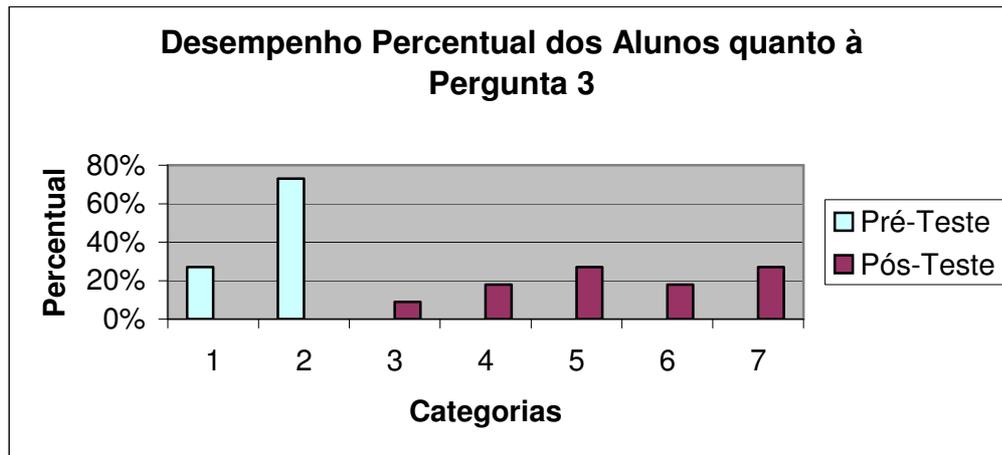


Figura 11 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de partícula.

Antes da intervenção didática, cerca de 27% dos alunos não conseguiram comentar nada a respeito de partícula (categoria 1) e os 73% restantes a definiram equivocadamente (categoria 2). Em contrapartida, após a realização do ciclo, 91% das respostas passaram a ocupar as categorias esperadas (de 4 a 7), mostrando um resultado bem próximo da análise dos cartazes. Aqui, 18% das afirmações foram classificadas com conceito bom e 82% com conceito muito bom. Perceba que nos cartazes, 100% das afirmações receberam conceitos bom ou muito bom, enquanto que, no pré-teste e pós-teste, 91% das respostas atingiram desempenho bom ou superior comprovando assim, mais uma vez, com instrumentos de análise distintos, excelentes resultados da utilização do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica para, neste caso, compreender a definição e as características das partículas.

Antes de prosseguir, observe a evolução conceitual do aluno 8 com suas respostas do pré-teste e do pós-teste, respectivamente:

“Partícula é um ‘ponto’ no espaço, ou seja, suas dimensões são inexpressíveis em relação ao espaço” (oc).

“Partícula é toda energia concentrada num ponto que se movimenta. Numa partícula há conservação da quantidade de movimento e pode haver colisões. Partícula é quando todos os pontos dela têm o mesmo movimento. Um objeto considerado não partícula tem seus ‘pontos’ (átomos) se movimentando de maneira diferente”(oc).

Observe que este aluno amplia consideravelmente suas concepções a respeito de partícula mesmo confundindo partícula, de uma forma geral, com partícula de luz ao citar a energia concentrada em um único ponto do espaço.

Pergunta 4. O conceito de fóton é abordado aqui, uma vez que é essencial para o entendimento do comportamento corpuscular da luz. Como nas análises anteriores, a tabela 06 retrata as categorias das respostas que, para tornar mais fácil a análise, está associada a conceitos no quadro 06.

Quadro 06 – Descrição e avaliação das categorias sobre fóton (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Não respondeu.	Insuficiente
2	Não conseguiu definir ou confundiu com outros termos (elétrons).	Insuficiente
3	Repetiu a definição apresentada na aula 2.	Suficiente
4	Definiu a partir do modelo atômico.	Suficiente
5	Associou à partícula.	Suficiente
6	Associou aos termos partícula e energia.	Suficiente
7	Associou aos termos partícula e energia e cita exemplo (Efeito Fotoelétrico).	Suficiente

Desta vez, as categorias apresentadas retratam, de forma bastante gradual, a evolução conceitual encontrada nas respostas, ou seja, a categoria 1 representa a ausência de resposta e a 7 a resposta mais apurada, envolvendo as idéias de partícula e energia e ainda citando um exemplo. Observe a tabela 06 para categorização das respostas.

Tabela 06 – Categorização da Pergunta 4.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	4	3
Aluno 2	4	3
Aluno 3	4	3
Aluno 4	1	4
Aluno 5	6	3
Aluno 6	1	2
Aluno 7	5	6
Aluno 8	5	7
Aluno 9	5	7
Aluno 10	5	7
Aluno 11	5	6

Percebe-se que 4 alunos possuem as categorias de suas respostas diminuídas para a categoria 3 que trata da repetição das mesmas palavras utilizadas e mostrada em slide pelo pesquisador, durante a aula 2, para definir fóton. Contudo, não se acredita que esses alunos tenham sofrido uma variação negativa em seus sistemas de construção, pois os alunos 1, 2 e 3 apresentaram definições bem apuradas, oriundas da Química, no pré-teste e o aluno 5 fornece uma definição melhor ainda de fóton, no seu pré-teste, em comparação com seu pós-teste, respectivamente:

“Fóton é uma partícula carregada de luz, possuindo energia em quantidade muito pequena” (oc).

“Fóton é quanta de energia em unidades integrais” (oc).

Acredita-se que esses alunos fizeram a opção de repetir exatamente o que o professor havia falado para não “errar” a resposta. Contudo, eles demonstram apenas uma repetição de palavras sem significação individual.

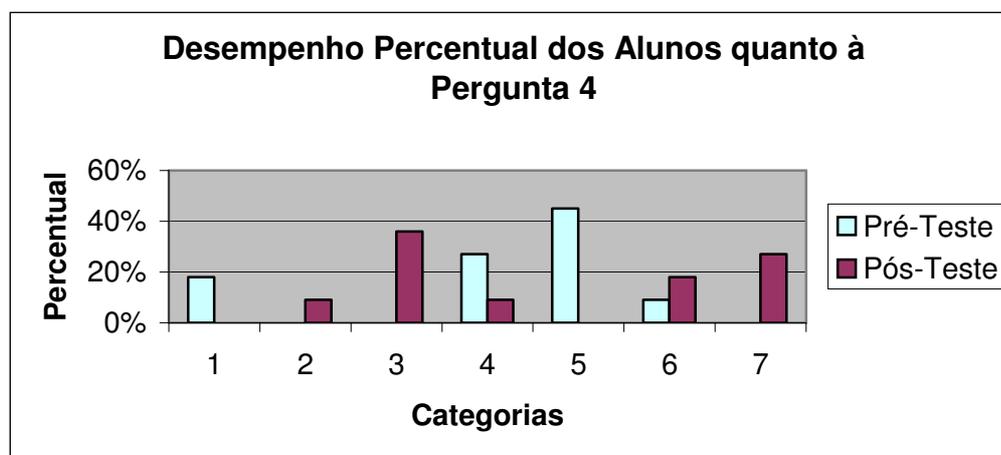


Figura 12 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de fóton.

Na análise do gráfico da figura 12, percebe-se que ocorreu algo diferente das análises anteriores, havendo uma grande concentração das respostas dos pós-testes, cerca de 36%, na categoria 3, que indica a repetição do que foi descrito em sala de aula. Ocorrendo inclusive um deslocamento decrescente da categoria 5, com cerca de 45% das respostas no pré-teste para a categoria 3 (cerca de 36%). Como dito anteriormente, este deslocamento decrescente pode ser entendido como uma busca do aluno pela segurança de repetir as palavras apresentadas pelo professor com o intuito de não “errar”. Contudo, pode também ter ocorrido uma variação indesejável do sistema de construção uma vez que Kelly (1963) explicaria que

nem toda alteração do sistema é, necessariamente, para melhor. O Ciclo da Experiência foi aplicado com intuito de ampliar os sistemas de cada aluno, se isto não ocorreu é preciso investigar melhor e, para tanto, a pergunta 8 retrata o mesmo tema sendo que abordado de forma inversa, através dos quanta de energia como será discutido mais adiante.

Pergunta 5. Os fotoelétrons são os elétrons arrancados da placa metálica após a incidência de radiação eletromagnética com frequência bem definida (região do violeta e do ultravioleta). Eles são também essenciais para se compreender o fenômeno do Efeito Fotoelétrico, ou melhor, para compreender o comportamento corpuscular da radiação, uma vez que, para explicar como eles surgem, é preciso se falar em partículas da luz (radiação eletromagnética). Para uma análise mais detalhada e mais fácil, associou-se as categorias aos conceitos descritos a seguir, separou-se as respostas nessas categorias mostradas na tabela 07 e depois construiu-se o gráfico da figura 13 para se fazer uma análise do percentual de respostas em cada categoria.

Quadro 07 – Descrição e avaliação das categorias sobre fotoelétron (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Não respondeu.	Insuficiente
2	Não conseguiu definir.	Insuficiente
3	Sugeriu que são elétrons liberados por causa da luz (fótons) de um corpo quaisquer.	Suficiente
4	Sugeriu que são elétrons liberados por causa da luz (fótons) de uma placa metálica.	Suficiente

Tabela 07 – Categorização da Pergunta 5.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	2	4
Aluno 2	1	3
Aluno 3	1	4
Aluno 4	1	3
Aluno 5	2	4
Aluno 6	1	4
Aluno 7	3	4
Aluno 8	1	3
Aluno 9	3	3
Aluno 10	1	3
Aluno 11	3	4

As categorias 3 e 4 diferem apenas na informação a respeito da origem do fotoelétron, ou seja, na categoria 3, o aluno não especifica qual o material formado pela placa que vai perder o elétron, enquanto ocorre esta especificação na categoria 4. Estas duas categorias foram criadas para observar as diferenças entre as respostas, mas qualquer uma delas é aceitável já que o objetivo maior desta pergunta é entender porque o elétron é arrancado. Assim, a tabela 07 mostra que todos os alunos após a aplicação do ciclo tiveram suas respostas em uma dessas duas categorias como era o objetivo. Contudo, o aluno 9 não mostrou, aparentemente, alteração em seu sistema, como observa-se nas respostas de seu pré-teste e pós-teste, respectivamente:

“Possivelmente a transformação de fótons em elétrons, após a incidência de luz em determinados corpos” (oc).

“São os elétrons que são arrancados pelos fótons durante o Efeito Fotoelétrico” (oc).

Entretanto, observa-se que, na resposta do pós-teste, este aluno faz referência ao Efeito Fotoelétrico conseguindo identificar, ao menos, em que situação é observado tal fenômeno. Não foi criada outra categoria para enquadrar esta resposta porque caberia somente ela. Para uma análise mais detalhada, observe a figura 13.

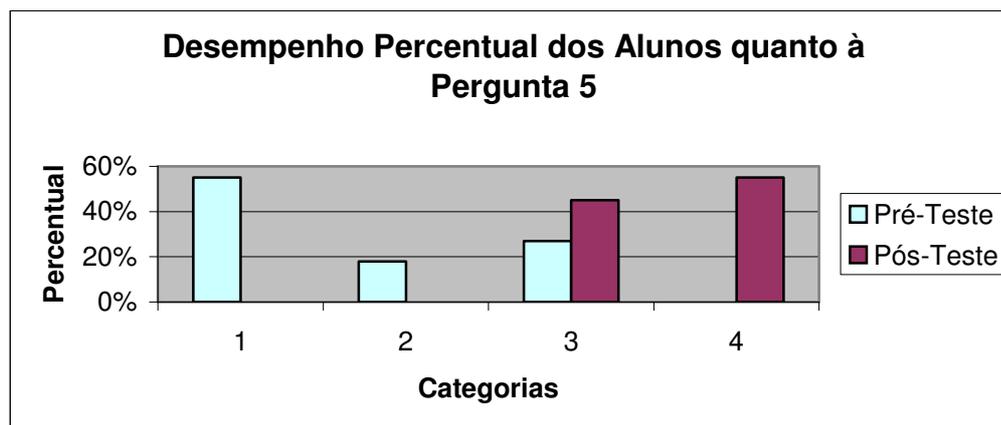


Figura 13 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação ao conceito de fotoelétrons.

Como era esperado, ocorreu um deslocamento das respostas das categorias 1 e 2, que representam a ausência de respostas ou as respostas inadequadas, para as categorias 3 e 4. No pré-teste, cerca de 55% dos alunos não sabiam responder a respeito dos fotoelétrons (categoria 1) e somente cerca de 27% dos alunos detinham respostas desejadas. Este grande percentual de ausência de respostas se explica no fato de que o termo fotoelétron é específico do estudo do Efeito Fotoelétrico e como 64% dos alunos haviam declarado na pergunta 1 que nunca haviam participado de uma aula envolvendo o tema, seria difícil para eles responderem esta pergunta. No pós-teste, 100% das respostas se apresentam como desejadas (45% na categoria 3 e 55% na categoria 4). É interessante destacar que mesmo os alunos que já apresentam respostas desejáveis (categoria 3) apresentam uma variação crescente de seu sistema (categoria 4), exceto pelo caso do aluno 9 discutido anteriormente mostrando, mais uma vez, a eficácia do Ciclo da Experiência.

Pergunta 6. Como comentado no capítulo anterior, a análise desta questão foi descartada, primeiramente, porque não foi trabalhado durante a aplicação do ciclo nenhuma atividade envolvendo as grandezas potencial elétrico e diferença de potencial que são pré-requisitos para o entendimento de potencial de corte. A opção de não trabalhar estas grandezas foi porque todos os alunos já haviam estudado tais grandezas em séries anteriores em seus colégios e tinham a noção necessária para entender o potencial de corte. Em segundo lugar, foi descartada esta questão porque foi fornecida a resposta aos alunos desta questão durante a aplicação do pós-teste. A justificativa para o fornecimento das respostas foi a tentativa de minimizar a angústia de alguns alunos que sabiam do que tratavam as grandezas, mas não conseguiam defini-las. O intuito foi de evitar prejuízo para outras respostas.

Pergunta 7 – Parte 1. Potencial de corte também é algo específico discutido dentro do fenômeno do Efeito Fotoelétrico. É a diferença de potencial elétrico necessária para que os fotoelétrons não consigam atingir a placa receptora de elétrons. A compreensão desta grandeza deve levar ao entendimento matemático da expressão do Efeito Fotoelétrico. Para analisar as respostas mais facilmente, as categorias foram conceituadas como a seguir, de acordo com as respostas apresentadas.

Quadro 08 – Descrição e avaliação das categorias sobre potencial de corte (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Não respondeu.	Insuficiente
2	Não conseguiu definir ou utilizou outras grandezas para definir (potência).	Insuficiente
3	Associou a um potencial mínimo para o elétron ser arrancado da placa.	Insuficiente
4	Associou ao potencial (ou ddp) necessário para frear o fotoelétron (energia cinética nula).	Suficiente

Para observar se ocorreu crescimento quanto à variação no sistema de construção foi elaborada a tabela 08 que descreve as categorias das respostas de cada aluno.

Tabela 08 – Categorização da Pergunta 7 – Parte 1.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	1	4
Aluno 2	1	4
Aluno 3	1	3
Aluno 4	2	2
Aluno 5	2	4
Aluno 6	2	4
Aluno 7	3	4
Aluno 8	3	4
Aluno 9	3	3
Aluno 10	1	2
Aluno 11	3	4

Em primeiro lugar, é importante destacar que a única categoria que contém resposta considerada adequada é a categoria 4, portanto, a primeira observação do quadro fornece o indício que este resultado não foi tão bom quanto de outras perguntas, mas que, ainda assim, constata-se que mais da metade dos alunos atingiram a categoria 4 em suas respostas. É de se destacar ainda que alguns alunos que não conseguiram responder o pré-teste passaram a responder adequadamente o pós-teste como no caso do aluno 1:

Potencial de corte → “é a diferença de potencial necessária para frear um elétron, onde a corrente é zero” (oc).

A resposta deste aluno mostra que ele consegue compreender qual o papel do potencial de corte no circuito do Efeito Fotoelétrico e qual a sua consequência para o mesmo. Veja a análise percentual mostrada na figura 14 para mais detalhes.

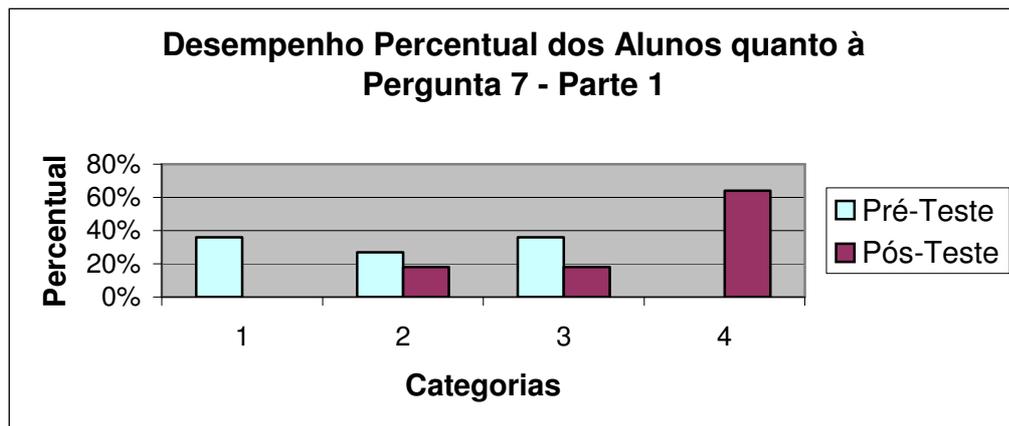


Figura 14 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação a potencial de corte.

No pré-teste, nenhuma resposta apresentou-se como satisfatória, ocorrendo 36% de ausência de respostas também explicada pelo fato de se tratar de uma grandeza discutida em particular no Efeito Fotoelétrico, 27% de respostas confusas e 36% de respostas inadequadas explicadas sempre com a tentativa de associar potencial com algo já conhecido e corte com mínimo. No pós-teste, 64% das respostas passaram a ser incluídas como adequadas o que representa um bom percentual se comparada com o percentual das respostas aceitas inicialmente (0%). Apesar da ampliação do sistema de construção não ocorrer como em outros casos, o resultado foi satisfatório já que mais da metade dos alunos conseguiram responder adequadamente. Assim, mais uma vez, observa-se um bom resultado para a aplicação do Ciclo da Experiência.

Pergunta 7 – Parte 2. O estudo da frequência de corte no fenômeno do Efeito Fotoelétrico é de extrema importância porque fornece a uma partícula, o fóton, uma grandeza característica de uma onda, frequência, e procura fornecer indícios do que ocorre na interação dessa onda-partícula com a matéria. Categorias estão conceituadas a título de facilitar a compreensão da categorização dos dados apresentados na tabela 09.

Quadro 09 – Descrição e avaliação das categorias sobre frequência de corte (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Não respondeu.	Insuficiente
2	O fenômeno deixa de acontecer aos poucos quando se altera a fonte de luz.	Insuficiente
3	O fenômeno deixa de acontecer quando se altera a fonte de luz.	Suficiente
4	Frequência mínima para arrancar um elétron ou fotoelétron (para que ocorra Efeito Fotoelétrico).	Suficiente
5	Frequência mínima da luz (radiação) para arrancar um elétron ou fotoelétron (para que ocorra Efeito Fotoelétrico) de uma placa metálica.	Suficiente

Tabela 09 – Categorização da Pergunta 7 – Parte 2.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	1	4
Aluno 2	1	4
Aluno 3	1	4
Aluno 4	3	3
Aluno 5	2	4
Aluno 6	3	4
Aluno 7	5	5
Aluno 8	4	4
Aluno 9	4	4
Aluno 10	1	4
Aluno 11	5	5

Dentre as categorias descritas na seção 5.2, a partir da categoria 3 tem-se respostas aceitáveis. Nesta categoria, consideram-se as repostas que falam em mudança de fonte de luz para a qual se deixa de observar o fenômeno como retrata o aluno 6, em seu pré-teste:

Frequência de corte → “ocorre quando o fenômeno deixa de acontecer, devido a alteração das características da fonte emissora de luz” (oc).

É de se notar que o aluno consegue estabelecer uma relação entre frequência e cor da luz atribuindo o caráter ondulatório à mesma. Entretanto, ao colocar que o “fenômeno deixa de ocorrer” e levando-se em consideração que sua resposta a respeito do potencial de corte atingiu a categoria mais alta, ele faz referência também ao caráter corpuscular da luz. Observe o que ocorre com as respostas, de uma forma geral, no gráfico da figura 15.

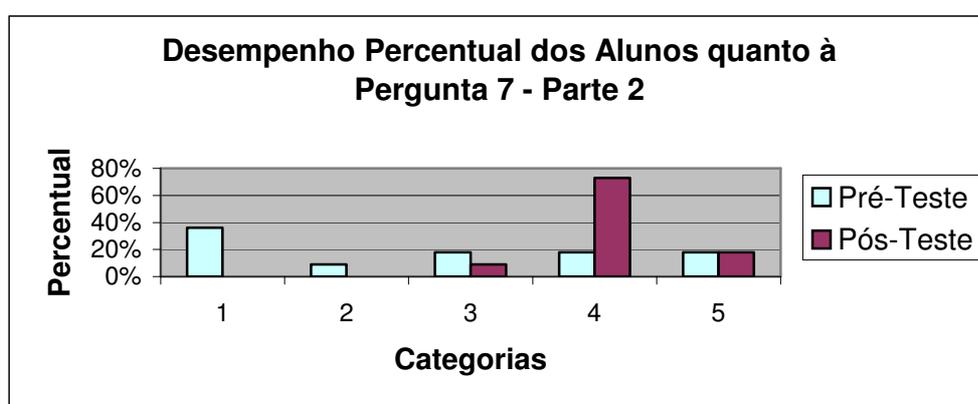


Figura 15 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação a frequência de corte.

No pré-teste, mais uma vez um índice relativamente alto de ausência de respostas, cerca de 36%, mais uma vez explicada por se tratar de um conceito tratado especificamente no Efeito Fotoelétrico, mas encontra-se ainda cerca de 9% das respostas equivocadas e já aparecem cerca de 55% de respostas adequadas divididas igualmente entre as categorias 3, 4 e 5. As diferenças nas categorias 4 e 5 se deve apenas ao fato de, na categoria 5, haver referência a utilização de placa metálica no fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Curiosamente, esta categoria não teve mudança no percentual de respostas no pré-teste e no pós-teste, cerca de 18%. Contudo, é de se ressaltar o crescimento percentual das respostas que se enquadram na categoria 4, atingindo cerca de 64% das respostas no pós-teste. Uma vez que as categorias 3, 4 e 5 apresentam respostas aceitáveis, pode-se dizer que 100% das respostas dos pós-testes se apresentaram adequadas fornecendo assim mais um excelente resultado.

Pergunta 8. Esta pergunta retratava o quantum de energia e a constante de Planck com o intuito de perceber se o aluno conseguia estabelecer relação com o fóton, ou seja, com a

pergunta 4. Mais uma vez, as categorias são associadas a conceitos que facilitam a compreensão da tabela 10.

Quadro 10 – Descrição e avaliação das categorias sobre quantum de energia (testes).

	Categorias	Avaliação
1	Não respondeu.	Insuficiente
2	Associou à energia, mas não conseguiu definir.	Insuficiente
3	Associou à energia.	Insuficiente
4	Associou à energia. Colocou a fórmula da energia de um quantum equivocada.	Suficiente
5	Associou às idéias de pacote e energia. Constante encontrada no cálculo da energia.	Suficiente

Tabela 10 – Categorização da Pergunta 8.

	Pré-Teste	Pós-Teste
Aluno 1	3	5
Aluno 2	3	5
Aluno 3	3	5
Aluno 4	1	5
Aluno 5	2	5
Aluno 6	1	1
Aluno 7	4	5
Aluno 8	2	5
Aluno 9	4	5
Aluno 10	1	5
Aluno 11	5	5

A análise prévia da tabela anterior mostra que houve um deslocamento das respostas quase que integralmente para a categoria 5, exceto pelo aluno 6 que não respondeu o pós-teste, pois teve que se ausentar antes do término da aula. Observe a análise percentual mostrada no gráfico da figura 16.

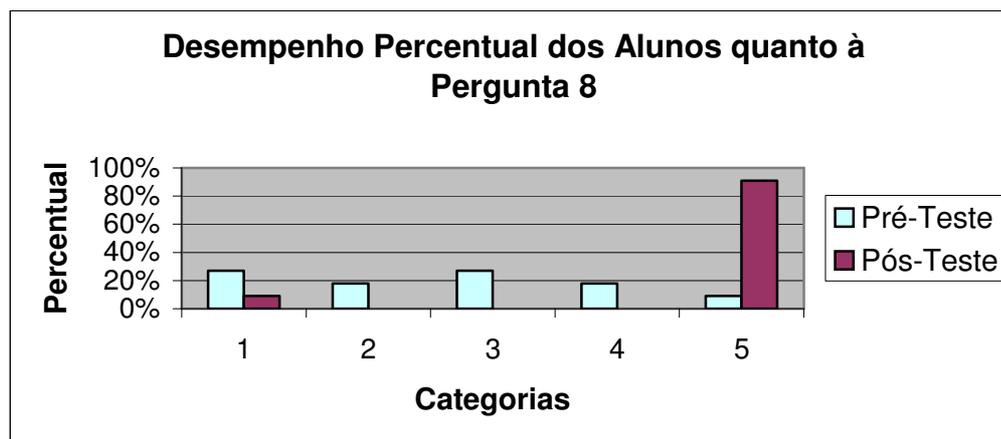


Figura 16 – Gráfico de desempenho, nos testes, em relação a quantum de energia.

No pré-teste, observa-se um índice ainda considerável de ausência de respostas, cerca de 27% (categoria 1), a quantidade de respostas confusas foi cerca de 18% (categoria 2), novamente 27% (categoria 3) das respostas tentaram simplesmente associar à energia uma vez que a palavra aparece na própria pergunta (quantum de energia), 18% (categoria 4) das respostas se apresentaram satisfatórias quanto a noção de quantum de energia, mas não souberam expressar corretamente uma relação matemática que envolvesse a constante de Planck e , finalmente, apenas 9% das respostas já se enquadrava na situação desejável. No pós-teste, todos que responderam esta pergunta o fizeram de forma adequada. A exceção foi o aluno 6 já comentado anteriormente.

O aluno 4 não conseguiu responder esta pergunta no pré-teste, mas no pós-teste apresentou a seguinte resposta:

“Quantum, é uma quantidade definida de energia, que está localizado nos fótons. Podemos observar a constante de Planck, na $E_{cMÁX} = hf - \phi$. $f \rightarrow$ frequência; $\phi \rightarrow$ função trabalho; $h \rightarrow$ constante de Planck” (oc).

Observa-se uma variação no sistema de construção ampliando-o de forma considerável. Perceba, ainda, a associação realizada entre quantum de energia e fóton e a especificação em relação à energia ser uma quantidade definida, além de estabelecer de forma adequada a equação do Efeito Fotoelétrico. Conclui-se, então, que este aluno consegue estabelecer relação entre quantum e fóton, além de associar ao quantum e , conseqüentemente ao fóton, uma quantidade de energia bem definida (acredita-se que o aluno está fazendo referência ao

“pacote” de energia) e também faz uma referência clara ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico (fazendo conexão do fóton, partícula de luz, a um fenômeno).

Observe ainda as respostas do aluno 5 no seu pré-teste e pós-teste, respectivamente:

“Provavelmente, quantum de energia é a quantidade de energia necessária para ocorrer a radiação de um corpo. A constante pode ser na matéria do corpo” (oc).

“Observamos a constante de Planck na fórmula de energia cinética máxima [$E_{cMÁX} = hf - \phi$]. Quantum de energia é um ‘pacote’ de energia, isto é, uma determinada quantidade de energia nesse ‘pacote’ (esses pacotes têm o mesmo tamanho)” (oc).

Enquanto a primeira resposta é confusa, sem precisar exatamente o que quer ser dito, a segunda resposta é precisa, com uma riqueza de detalhes (como, por exemplo, associar quantum de energia a pacotes de energia). O aluno lembra-se também de fazer a ligação entre a constante de Planck e o fenômeno do Efeito Fotoelétrico, contudo não consegue fazer a associação ao fóton, mas, ainda assim, apresenta um rendimento desejável.

Assim, percebe-se que também há um resultado notável como na maioria das respostas anteriores, ou seja, ocorreu mais uma vez uma variação no sistema de construção da maior parte dos alunos evidenciando a eficácia do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica.

5.3 Considerações Finais

Nesta seção, apresentam-se os resultados mais relevantes da pesquisa discutidos anteriormente bem como os principais aspectos observados.

- A simulação realizada na aula 3 com o intuito de se fazer uma revisão construtiva foi bastante proveitosa, pois os alunos acabaram por resolver dúvidas que ainda possuíam como a associação da frequência de cada cor de luz (radiação) à energia do fóton da radiação, o entendimento da solução do problema da intensidade luminosa do efeito Fotoelétrico e como medir a energia cinética máxima do fotoelétron. O comportamento dos alunos foi empolgante, todos bastante participativos, até mesmo, os mais quietos (os

que não fizeram nenhum questionamento durante as três aulas) participaram questionando e sugerindo situações. Acredita-se que a realidade do jovem moderno está associada à interatividade, pois estão acostumados a lidar com jogos, de computador ou não, cuja participação efetiva dos jogadores em simulações é uma constante. Além disso, os diversos programas de televisão, de qualidade ou não, têm atraído, cada vez mais, a participação do telespectador como já acontecia no rádio. Enfim, utilizar mecanismos que envolvam a participação dos alunos durante o processo de ensino-aprendizagem faz com que até aqueles mais inibidos (menos participativos) se envolvam de forma efetiva na construção de seu conhecimento científico.

- A produção nos cartazes teve como objetivo inicial reforçar as hipóteses criadas pelos alunos, bem como estabelecer um confronto destas hipóteses entre eles, com o intuito de promover uma validação ou invalidação inicial e, como objetivo final, fazer com que o aluno reorganize seus construtos a fim de fazer uma revisão construtiva e causar uma variação positiva no seu sistema de construção. Em relação ao conceito de onda, 64% dos alunos já tinham uma certa noção (categorias 3 e 4) o que facilitou a alteração no sistema para atingir 100% dos alunos com uma noção muito boa (categoria 5). Segundo a Teoria dos Construtos Pessoais, isso ocorreu devido a, possivelmente, sucessiva construção de réplicas de um evento, ou seja, os alunos já haviam participado de alguma situação envolvendo o conceito de onda.

- Ainda na produção dos cartazes, com relação ao conceito de partícula, obteve-se um resultado interessante que pôde ser comparado com o resultado da pergunta 3 que tratava do mesmo tema. As afirmações no cartaz pré-ciclo estavam aquém do desejado perfazendo um total de 100% de afirmações na média (9%, categoria 3) ou abaixo dela (91%, categorias 1 e 2). Após o ciclo, 100% das afirmações dos alunos passam a apresentar conceito de bom (18%, categoria 4) para muito bom (82%, categoria 5). Resultado bastante animador, mas é preciso confrontar este resultado com o pré-teste e pós-teste. Nesta última análise, somente 9% das respostas foram agrupadas com o conceito mediano (categoria 3) e o restante, portanto 91%, foram conceituadas de boas a excelentes (categorias 4 a 7). Portanto, os resultados da produção no cartaz e do pré-teste e pós-teste são bem parecidos e ambos indicam que, após a aplicação do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica, mais de 90% dos alunos conseguiram promover uma variação

em seu sistema de construção a ponto de compreender de forma completa a definição, os fenômenos e as características relacionadas com as partículas.

- Como Kelly (1963) menciona no Corolário da Experiência, quanto maior a quantidade de revisões realizadas de um mesmo evento maior será a variação no sistema de construção. Também é verdade que a participação em vários eventos não garante nenhuma variação no sistema, a não ser que, a cada evento novo, seja realizada, ao menos, uma revisão construtiva. Acredita-se que o aluno 11, além de participar da maior quantidade de eventos relacionados com tema (4 eventos), deve ter realizado todas as revisões necessárias a obter em todos os itens desempenho satisfatório. Contudo, a maior parte dos alunos (7, entre os 11) não haviam participado de nenhum evento anteriormente que pudesse contribuir na discussão a respeito da dualidade da luz. Estes alunos, bem como os três restantes, obtiveram de modo geral rendimento de mediando para bom.
- A análise de duas características essenciais da onda como frequência e comprimento de onda teve, novamente, um resultado bastante satisfatório. Em relação ao primeiro conceito, alguns cerca de 55% (categoria 2) dos alunos tentaram definir inicialmente baseados em conceitos vistos anteriormente, mas não obtiveram sucesso e 18% responderam de forma confusa (categoria 1). Após o ciclo, 82% dos alunos chegaram a respostas adequadas (categorias 4 e 5). Já em relação ao segundo conceito, cerca de 64% não conseguiram definir inicialmente adequadamente (categorias 1, 2 e 3) contra 100% (categorias 4 e 5) dos alunos conseguindo após a aplicação do ciclo. Mais uma vez, a variação no sistema de construção foi decisiva e condicionada pelo ciclo. Contudo, o resultado a respeito de comprimento de onda foi melhor que o de frequência inesperadamente, pois o segundo conceito já havia sido estudado em anos anteriores por todos os alunos. Acredita-se que o problema é o nível de abstração que exige o conceito de frequência por causa da sua relação com o tempo em oposição a concretude que possui o conceito de comprimento de onda por se relacionar com espaço. A busca pelo concreto é percebida claramente na utilização do termo “espaço de tempo” por vários alunos. A palavra espaço fornece a segurança do concreto.
- Em relação à noção de fóton, considera-se que as respostas dos alunos agrupadas nas categorias 3 a 7 são de medianas para excelentes, ou seja, são satisfatórias. Assim, inicialmente um total de 82% das respostas já se encontravam como satisfatórias

(categorias 3 a 7) e, após a aplicação do ciclo, passou para 91% (categorias 3 a 7). O destaque aqui é para uma diminuição da categoria 5 (associou à partícula) para a categoria 3 (repetiu a definição fornecida na aula 2) que cerca de 36% das respostas tiveram. Pode-se explicar essa mudança por uma variação não desejada no sistema de construção, afinal, segundo o próprio Kelly (1963), as mudanças nem sempre ocorrem na direção desejada e nem tendem a estabilizar-se. Quanto à idéia de quantum de energia apresentada separada, propositalmente, da noção de fóton, os resultados dos pós-testes são os mesmos que os pós-testes aplicados na discussão a respeito de fóton, ou seja, 91% de respostas satisfatórias (categoria 5). A diferença é que 73% das repostas sobre quantum de energia no pré-teste foram consideradas abaixo da média (categorias de 1 a 3). Percebe-se que a aplicação do ciclo mostrou, mais uma vez, seus benefícios no que diz respeito ao estudo de quantum de energia, mas não foi muito eficaz no estudo do fóton sem, contudo, causar grandes prejuízos, pois os alunos, apesar de apresentarem uma mudança para uma categoria inferior, não tiveram suas respostas colocadas fora da região de validade.

- Em relação aos conceitos relacionados especificamente com o Efeito Fotoelétrico como fotoelétrons, potencial de corte e frequência de corte, observe o que ocorreu. As respostas referentes a fotoelétrons passaram de 73% de insatisfatórias (categorias 1 e 2) para 100% de respostas satisfatórias (categorias 3 e 4). Em relação ao potencial de corte, 100% das respostas se mostraram inadequadas (categorias 1, 2 e 3) no pré-teste enquanto que 64% dessas respostas passaram a ser satisfatórias (categoria 4). Enfim, em relação a frequência de corte, 45% das respostas iniciais se mostraram insatisfatórias (categorias 1 e 2) contra 100% de respostas satisfatórias no pós-teste. Constata-se que o resultado final, para os conceitos de fotoelétrons e frequência de corte, foram os mesmos, enquanto que o resultado para potencial de corte foi pouco maior que 60%. Acredita-se que a dificuldade em relação ao potencial de corte foi devido a não inclusão de seus pré-requisitos (potencial elétrico e diferença de potencial) no ciclo, justificada por um julgamento, certamente, prematuro, de que não traria prejuízo para os alunos. Contudo, ainda assim, pode-se perceber de a influência positiva da utilização do Ciclo da Experiência, uma vez que em todos os casos houve ampliação do sistema de construção de cada aluno.

Finalmente, pode-se constatar que, ao final da aplicação do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica, houve uma ampliação no sistema de construção de todos os alunos uma vez que a análise realizada a partir das respostas obtidas nos pré-testes e pós-testes e das

afirmações escritas durante a produção dos cartazes indica que sempre mais de 60% das respostas apresentadas ou afirmações foram classificadas como satisfatórias, tomando-se como referências as definições apresentadas na seção 5.2. É importante destacar ainda que, em muitos casos, como na análise do conceito de onda e nos conceitos de comprimento de onda, fotoelétrons e frequência de corte, o percentual de respostas satisfatórias atingiu 100% respaldando assim esta metodologia de ensino.

6. CONCLUSÕES

Levando-se em conta todos os resultados descritos e analisados, bem como as teorias discutidas anteriormente, conclui-se que:

- A utilização de mecanismos interativos durante o processo de ensino-aprendizagem, como uma “simulação” envolvendo os próprios alunos, faz com que, até mesmo os alunos menos participativos, se envolvam no processo alterando, não somente seu sistema de construção, mas a sua postura, ou seja, passando a ter um perfil participativo. A sociedade moderna é bastante interativa, então, por que exigir dos jovens um comportamento passivo (sentado na cadeira e calado, durante todo o tempo, enquanto o professor “explica” o assunto)?
- Os alunos passaram a distinguir de forma bastante evidente fenômenos ondulatórios de fenômenos corpusculares assim como as características associadas às partículas e às ondas, além de as definirem de forma precisa;
- Os alunos passaram a compreender o que ocorre durante o fenômeno da difração e da interferência de uma onda qualquer e de uma onda luminosa;
- Ao compreender o fenômeno do Efeito Fotoelétrico de uma forma geral, os alunos conseguiram perceber o comportamento corpuscular da luz neste fenômeno;
- A associação dos fenômenos da reflexão, refração, difração e interferência ao comportamento ondulatório da luz, além do fenômeno do Efeito Fotoelétrico ao seu comportamento corpuscular, os alunos puderam constatar que a luz apresenta um comportamento dual;
- Uma vez que a aula expositiva com utilização de experimentos e simulações foi estruturada a partir do estudo do Efeito Fotoelétrico (ou seja, o estudo do comportamento da luz neste fenômeno) e os alunos passaram a compreender as diferenças entre ondas e partículas, acredita-se que a utilização do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica se mostrou de grande eficiência no Ensino de Física Moderna, em particular, na compreensão do comportamento dual da luz;

- Ocorreu variação no sistema de construção de todos os alunos, de forma que em todos os casos, exceto nos resultados a respeito do fóton, houve constatação de construção do conhecimento científico. O problema em relação ao conceito de fóton foi que houve uma variação no sistema de construção não desejada, os alunos preferiram a “segurança” de repetir a definição apresentada pelo professor, pois não se sentiram seguros em suas construções a respeito de fótons. Certamente, a aplicação de um novo ciclo com o tema central “fóton” traria melhoras significativas nos sistemas de construção de todos os alunos.
- Os alunos possuem maior dificuldade no entendimento de conceitos mais abstratos como os que envolvem tempo (por exemplo, o conceito de frequência) do que na compreensão de conceitos mais concretos como os que envolvem comprimento (por exemplo, comprimento de onda). Mesmo tendo passado por mais de um processo de revisão construtiva, a dificuldade é maior para conceitos abstratos fazendo os alunos recorrerem a algo concreto a todo custo quando se referem a um “espaço de tempo” em lugar de intervalo de tempo. Uma pesquisa a respeito da utilização do Ciclo da Experiência para investigar a compreensão de conceitos abstratos como frequência, campo elétrico, potencial elétrico, entre outros, fica como sugestão para trabalhos futuros.
- A proposta metodológica apresentada nesta pesquisa no Ensino de Física Moderna pode ser utilizada por outras áreas do conhecimento, como no trabalho de Bezerra (2005) em Educação Ambiental;
- A utilização do Ciclo da Experiência mais de uma vez pode trazer resultados ainda melhores como ocorreu no trabalho de Bezerra (2005) uma vez que o Corolário da Experiência estabelece que o maior quantidade de revisões construtivas que o indivíduo se submete maior será a variação no seu sistema de construção.
- A utilização do Ciclo da Experiência, como ferramenta metodológica, permite a compreensão do comportamento dual da luz.

REFERÊNCIAS

ALVETTI, M. A. S. *Ensino de Física Moderna e Contemporânea e a Revista Ciência Hoje*. Florianópolis, 1999. 170 p. Dissertação (Mestrado em Educação). Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

BARATA, J. C. A. *De Planck a Einstein: O Nascimento da Noção de Fóton em 1905*. Videoconferência disponível em: <<http://fma.if.usp.br/convite/Index-02-2005.html>> Acesso em: 10 ago. 2005.

BEN-DOV, Y. *Convite à Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1995, 2005.

BEZERRA, G. B. *Investigando o Desenvolvimento da Concepção de Interdependência entre os Elementos da Biosfera, com Alunos do Ensino Fundamental I*. Recife, 2005. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.

BRASIL. *LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei nº 9394, 20 de Dezembro de 1996*. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/LDB.htm.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2005.

BRASIL, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, Brasília: MEC; SEMTEC, 2002. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2005.

CANATO JR, O. *Texto e Contexto para o Ensino de Física Moderna e Contemporânea na Escola Média*. São Paulo, 2003. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2003.

CARDOSO, H. B. *Textos originais: Fizeau*. Fortaleza: Convite à Física, 2005. Disponível em <http://www.conviteafisica.com.br/home_fisica/textos_originais/text_origin_fizeau.htm>. Acesso em: 14 ago. 2005.

CARRETERO, M. *Construtivismo e Educação*. Porto Alegre: Artmed, 1997.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. *As Faces da Física*. São Paulo: Moderna, 2002.

CHEVALLARD, Y. *La Transposición Didáctica – Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Alque, 1991.

COELHO, J. V. *Física Moderna no Ensino de Nível Médio*. Cuiabá, 1995. 137 p. Dissertação (Mestrado em Educação Pública). Instituto de Educação e Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, 1995.

CLONINGER, C. S. *Teorias da Personalidade*. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

DAVIES, N. O Governo Lula e a Educação: a deserção do estado continua? *Educação e Sociedade*, Campinas, v. 25, n. 86, p. 245-252, abril 2004.

DE PAULO, I. J. *Elementos para uma Proposta de Inserção de Tópicos de Física Moderna no Ensino de Nível Médio*. Cuiabá, 1997, 89 p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências). Instituto de Educação, Universidade Federal de Mato Grosso, 1997.

DUARTE, N. *Poço Redondo, SE: primeira parte. Caminhos e Parcerias*, 1998. Disponível em: <<http://www.tvcultura.com.br/caminhos/02pocoredondo/pocoredondo1.htm>>. Acesso em: 14 de agosto de 2005.

GARGALLO, B.; CÁNOVAS, P. A construção humana através da elaboração das construções pessoais: G. A. Kelly. In: MINGUET, P. A. *A Construção do conhecimento na educação*. Porto Alegre: Artmed, 1998.

GASPAR, A. *Física: Eletromagnetismo e Física Moderna*. São Paulo: Ática, 2000.

GEIWITZ, J. *Teorias não-freudianas da personalidade*. São Paulo: E.P.U., 1973

GOULART, I. B. Em que consiste o modelo construtivista. In: GOULART, I. B. *A Educação na perspectiva construtivista: reflexões de uma equipe interdisciplinar*. Petrópolis: Vozes, 1998

HALL, C. S.; LINDZEY, G. *Teorias da Personalidade*. São Paulo: E.P.U., 1984.

HALL, C. S.; LINDZEY, G.; CAMPBELL, J. B. *Teorias da Personalidade*. Porto Alegre: Artmed, 2000.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 1.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 2.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1995. v. 4.

HESSEN, J. *Teoria do Conhecimento*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2002.

KRAGH, H. *Quantum Generations: a history of physics in the twentieth century*. Princeton: Universidade de Princeton, 2002.

KELLY, G. *A Theory of Personality – The psychology of personal constructs*. New York: W. W. Norton, 1963.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: E.P.U., 1986.

NEWTON, I. *Óptica*. São Paulo: Edusp, 1996.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. v. 1.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. v. 4.

OLIVEIRA, M. M. *Como fazer: projetos, relatórios, monografias, dissertações e teses*. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

PIAGET, J. *Para onde vai a educação?* Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1973.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. In: PIETROCOLA, M. *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora*. Florianópolis: UFSC, 2005.

PECK, D.; WHITLOW, D. *Teorias da Personalidade*. Rio de Janeiro: Zahar, 1976

RAMALHO JR., F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P.A.T. *Os Fundamentos da Física 3*. São Paulo: Moderna, 2003.

RAPOSO, E. P. *Mecânica Quântica – Da Equação de Shrödinger às Partículas Elementares*. Recife: 55^a Reunião Anual da SBPC, 2003.

RICARDO, E. C.; ZYLBERSZTAJN, A. Ensino das ciências no nível médio: um estudo sobre as dificuldades na implementação dos parâmetros curriculares nacionais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3: p. 351-370, dez, 2002.

ROCHA, J. F. A origem e evolução do eletromagnetismo. In: ROCHA, J. F. *Origens e evolução das idéias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2002.

RODRIGUES, G. M. *A Abordagem do Conceito de Energia através de Experimentos de Caráter Investigativo, numa Perspectiva Integradora*. Recife, 2005. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.

SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E. *Teorias da Personalidade*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

SEGRÈ, E. *Dos raios-x aos quarks: físicos modernos e suas descobertas*. Brasília: Universidade de Brasília, 1987.

STACHEL, J. *O Ano Miraculoso de Einstein – Cinco artigos que mudaram a física*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANO DE AULA 1

AULA 1 (ANTECIPAÇÃO E INVESTIMENTO)

Objetivo: Fazer com que os alunos elaborem suas hipóteses sobre comportamento dual da luz e garantir que façam uma breve pesquisa sobre o tema.

Momento 1 → Duração 5’

- Apresentação.

Momento 2 → Duração 40’

- Responder os Pré-Testes.

Momento 3 → Duração 5’

- Sorteio das letras.

Momento 4 → Duração 10’

- Produção no cartaz.

Momento 5 → Duração 10’

- Levantamento, em grupo, das hipóteses formuladas na produção do cartaz, sem fornecer as “respostas corretas”.

Momento 6 → Duração 20’

- Leitura do texto 1 (Anexo C).

Momento 7 → Duração 10’

- Discussão das dúvidas a respeito do texto 1.

APÊNDICE B – PLANO DE AULA 2

AULA 2 (ENCONTRO)

Objetivo: Introduzir as hipóteses cientificamente corretas sobre o comportamento dual da luz para serem confrontadas com as hipóteses formuladas na aula 1.

Momento 1 → Duração 15'

- Explicação da experiência de Philip Lenard e apresentação dos problemas devido ao modelo ondulatório.

Momento 2 → Duração 15'

- Explicação da hipótese de Einstein.

Momento 3 → Duração 30'

- Apresentação da definição e das características das ondas (realização de experimentos – ondas estacionárias em uma corda, interferência luminosa com um laser e um fio de cabelo e estudo de pulsos em uma corda).
- Apresentação da definição e das características das partículas (realização do experimento a respeito da colisão de bolinhas de gude e discussão sobre poder considerá-la como partícula).

Momento 4 → Duração 30'

- Explicação dos resultados experimentais de Lenard através da hipótese dos quanta de luz e apresentação das soluções dos problemas iniciais.

Momento 5 → Duração 20'

- Aplicações do Efeito Fotoelétrico no cotidiano (leitura de CD e DVD e fotômetros) e breve discussão de outros efeitos afins (efeito fotovoltaico e fotocondutividade).

Momento 6 → Duração 10'

- Dúvidas

APÊNDICE C – PLANO DE AULA 3

AULA 3 (VALIDAÇÃO E REVISÃO CONSTRUTIVA)

Objetivo: Confirmar ou rejeitar as hipóteses formuladas na aula 1 sobre o comportamento dual da luz e consolidar as hipóteses científicas como verdadeiras.

Momento 1 → Duração 25’

- Revisão da aula anterior questionando os alunos, durante a aula, para reforçar a validação ou não de suas hipóteses.

Momento 2 → Duração 20’

- Realizar uma espécie de “simulação” do Efeito Fotoelétrico utilizando os alunos como elementos do circuito.

Momento 3 → Duração 10’

- Produção no cartaz.
- Apresentação da definição e das características das partículas (realização do experimento a respeito da colisão de bolinhas de gude e discussão sobre poder considerá-la como partícula).

Momento 4 → Duração 5’

- Responder duas perguntas, por escrito, sobre comportamento dual da luz e Efeito Fotoelétrico.

Momento 5 → Duração 40’

- Responder os Pós-Testes.

APÊNDICE D – MODELO DO PRÉ-TESTE E DO PÓS-TESTE

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Ensino das Ciências



Investigando a Compreensão do Comportamento Corpuscular da Luz Através da Experiência do Efeito Fotoelétrico com Alunos da 2^A Série do Ensino Médio

O presente trabalho tem como objetivo principal a compreensão do comportamento da luz (onda ou partícula?) no estudo do Efeito Fotoelétrico. As perguntas que se seguem têm o intuito de identificar os conhecimentos prévios a respeito do tema abordado, portanto as respostas aqui apresentadas devem representar seu conhecimento adquirido com suas experiências no cotidiano. Desde já, agradeço a participação de todos.

Atenciosamente,

NÉLIO OLIVEIRA FERREIRA.

RECIFE
JUNHO DE 2005

Nome: _____

Idade: _____

Série: _____

Colégio: _____

01. Você já assistiu a alguma aula ou palestra ou fez algum trabalho de pesquisa sobre Efeito Fotoelétrico? (se necessário, marque mais de uma opção)

() Sim, eu já assisti a uma aula.

Quando? _____

() Sim, eu já assisti a uma palestra.

Quando? _____

Em que evento? _____

() Sim, eu já fiz um trabalho de pesquisa.

Quando? _____

Para o colégio ou para participar de algum congresso, seminário ou feira? _____

() Não.

02. As ondas estão presentes no nosso cotidiano nas mais diversas situações. Por exemplo, ao dedilharmos as cordas de um violão, produzimos ondas nas cordas que fazem vibrar o ar e se propagam até chegar aos nossos ouvidos produzindo a sensação de som. Os sons emitidos por uma mesma corda variam de acordo com o lugar onde a pressionamos contra o braço do violão, alterando assim duas características essenciais, frequência e comprimento de onda. Escreva o que você entende por frequência de uma onda e comprimento de onda.

Frequência de uma onda → _____

Comprimento de onda → _____

03. Quando começamos o nosso estudo de mecânica, passamos a nos acostumar com o termo partícula. Por exemplo, estudamos uma partícula executando um movimento retilíneo e uniforme ou a colisão de partículas ou as forças de contato e de interação à distância trocadas entre partículas etc. Enfim, desde o nosso primeiro contato com a Física, fazemos uso desse termo, partícula. Quais as características essenciais de uma partícula? O que diferencia algo que é considerado partícula de algo que não é considerado partícula?

04. A preocupação com o estudo da luz data da Antiguidade Grega. Desde então, surgiram várias teorias a respeito do que é formada a luz, ou seja, da natureza da luz. Entretanto, é somente no século XX que surge uma teoria capaz de explicar uma maior quantidade de fenômenos relacionados com a luz. Esse modelo para explicar a natureza da luz se baseia na idéia de fóton. O que você sabe a respeito dessa idéia de fóton?

05. Em 1905, Einstein publica seu trabalho intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a geração e transformação da luz” na revista alemã Annalen der Physik no qual ele explica o fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico. Essas explicações vão lhe render o prêmio Nobel de 1921. Contudo, o trabalho gerou bastante controvérsia na comunidade científica por admitir um comportamento inesperado para a luz e o conseqüente surgimento dos chamados fotoelétrons. O que você sabe sobre fotoelétrons?

06. No estudo de eletricidade, somos apresentados a grandezas novas como campo elétrico, potencial elétrico e diferença de potencial (ddp). No nosso cotidiano, podemos citar uma série de fenômenos envolvendo essas grandezas como o surgimento de um raio, formação da imagem em uma televisão, o estabelecimento de corrente elétrica nos diversos eletrodomésticos etc. Explique o que você entende por potencial elétrico e por diferença de potencial (ddp).

Potencial elétrico → _____

Diferença de potencial (ddp) → _____

07. A experiência do Efeito Fotoelétrico foi realizada por Heinrich Hertz, em 1887. Hertz observou que o fenômeno deixava de acontecer quando ele alterava o potencial elétrico do circuito, atingindo o chamado potencial de corte. Constatou também que o fenômeno cessava quando alterava as características da fonte emissora de luz de modo a atingir uma frequência de corte. Comente o que você sabe a respeito de potencial de corte e frequência de corte.

Potencial de corte → _____

Frequência de corte → _____

08. Em 1900, Planck resolve um problema que intrigava a comunidade científica, o problema da radiação do corpo negro. Para resolver tal questão, foi obrigado a admitir, contra todas as suas convicções, a quantização da energia sendo considerado o primeiro precursor da Teoria Quântica e doando seu nome a uma constante famosa, a constante de Planck. Como podemos definir quantum de energia? Onde podemos observar a constante de Planck?

APÊNDICE E – REFERÊNCIAS USADAS NO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. *As Faces da Física*. São Paulo: Moderna, 2002.

GASPAR, A. *Física: Eletromagnetismo e Física Moderna*. São Paulo: Ática, 2000.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1995. v. 4.

HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. Porto Alegre: Bookman, 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. v. 4.

RAMALHO JR., F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P.A.T. *Os Fundamentos da Física 3*. São Paulo: Moderna, 2003.

Os conceitos mais relevantes encontrados nestes livros para a compreensão do comportamento dual da luz e, em particular, do Efeito Fotoelétrico foram:

- Onda (frequência e comprimento);
- Partícula;
- Fótons;
- Fotoelétrons;
- Potencial elétrico;
- Diferença de potencial (ddp);
- Frequência de corte;
- Potencial de corte;
- Quantum de energia;
- Constante de Planck.

APÊNDICE F – ARTIGO

UTILIZANDO O CICLO DA EXPERIÊNCIA DE KELLY COMO
FERRAMENTA METODOLÓGICA PARA COMPREENSÃO DOS
COMPORTAMENTOS ONDULATÓRIO E CORPUSCULAR DA LUZ

Nélio Oliveira Ferreira

Departamento de Educação – UFRPE

Recife, PE

nelioferreira@globo.com

Heloísa Flora Brasil Nóbrega Bastos

Departamento de Educação – UFRPE

Recife, PE

heloisafiorabastos@yahoo.com.br

Ernande da Costa

Departamento de Educação – UFRPE

Recife, PE

Resumo

A preocupação com o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio se acentuou nos últimos anos devido à preocupação na formação de um cidadão em sintonia com as novas tecnologias. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Brasileira, de 1996, juntamente com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's), em suas duas edições (PCN's e PCN's +), têm mostrado a necessidade de formar uma nova geração de alfabetizados tecnológicos o que, em grande parte, tem haver com o ensino de Física Moderna Contemporânea. O funcionamento dos equipamentos tecnológicos presentes no cotidiano baseia-se, essencialmente, nesta parte da Física. Como o seu entendimento está intimamente ligado ao comportamento dual (onda-partícula) da luz e da matéria, entende-se que a compreensão da definição, características e fenômenos das ondas e das partículas como alicerce inicial para um bom desenvolvimento cognitivo no que diz respeito a Física Moderna e Contemporânea, sobretudo, em relação à Mecânica Quântica. Este trabalho foi estruturado na utilização das cinco etapas do Ciclo da Experiência da Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly (1963), antecipação, investimento, encontro, validação e revisão construtiva, como ferramenta metodológica. A utilização desta teoria em Educação é pioneira no Brasil e os resultados obtidos foram animadores gerando uma perspectiva que possam surgir novos trabalhos baseados nela.

Palavras-chave: Onda, partícula, Ciclo da Experiência, Teoria dos Construtos Pessoais.

Introdução

As novas tecnologias estão cada vez mais presentes no cotidiano. É preciso, então, melhorar o diálogo do indivíduo com as mesmas, o que só acontecerá se o professor e a escola repensarem seus papéis na formação do cidadão. A sociedade (os pais dos alunos e os políticos) tem importante papel na cobrança e na vigilância da direção em que ocorre esta mudança. Forma-se, assim, uma tríade que compõe o sistema de ensino professor-pais-políticos responsáveis pela formação dos jovens conhecida, segundo Chevallard (1991), como noosfera.

Os problemas na noosfera da educação brasileira são muitos. Pode-se citar o problema da falta de recursos da educação pública, sendo submetida, a cada novo governo, a uma política, cada vez mais, recessiva. Programas, que mais parecem populistas, são criados ou recriados, como o “Brasil Alfabetizado” ou “Universidade para todos”, com o intuito muito mais eleitoreiro do que de preocupação com a formação de uma nova sociedade. Aliás, parece indesejável uma sociedade consciente e amadurecida intelectualmente (DAVIES, 2004).

Em contrapartida, os problemas da noosfera também afetam a educação particular. O problema aqui não parece ser de investimento, mas o é. O que deve ser questionado na educação privada é como utilizar os recursos disponíveis? As propostas pedagógicas mais inovadoras possíveis são trabalhadas dentro destas escolas como o ensino com projetos ou a utilização dos temas transversais, contudo, é preciso se discutir como implementar tais propostas. O professor precisa estar dentro do colégio e fora da sala de aula para dialogar com seus colegas, coordenação, direção e, até mesmo, sociedade para desenvolver estas e outras propostas. Precisa-se acabar com a política do professor-táxi, que visita os colégios em que trabalha, mas não é remunerado para que fique no colégio realizando pesquisa sobre sua metodologia de ensino.

Diante de tantas e novas tecnologias, parece bastante arcaico entrar em sala de aula e ministrar uma aula expositiva como era no início do século passado. É importante que se destaque que a aula expositiva tem seu valor e deve ser trabalhada sempre que o professor julgar necessária. O problema é que o professor não consegue fazer julgamento sobre seu trabalho, ou seja, não pesquisa seu trabalho e, sem opção, acaba sempre trabalhando de forma expositiva. Não é a aula expositiva que está ultrapassada, mas não pensar a metodologia de trabalho a ser utilizada.

Dentro desta preocupação com a metodologia, este trabalho tem o intuito de oferecer um caminho alternativo para a construção do conhecimento. A

melhoria do diálogo com a tecnologia presente no cotidiano só ocorrerá mediante a introdução de novos conteúdos de Física no Ensino Médio, o que já é fato. Contudo, não basta somente um acréscimo de conteúdos, ou mesmo uma reforma curricular, é preciso também se discutir como ensinar estes conteúdos. Assim, este trabalho tenta unir a preocupação com a discussão a respeito de novas metodologias a preocupação com o Ensino de Física Moderna.

Por julgar de grande importância a compreensão do comportamento dual da luz e da matéria como alicerce inicial para o estudo de toda a Física Moderna, este tema é tratado aqui sob a investigação dos fenômenos ondulatórios e corpusculares. A ferramenta metodológica utilizada é o Ciclo da Experiência da Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly. Consiste de cinco etapas, antecipação, investimento, encontro, validação e revisão construtiva, que são trabalhadas em três aulas.

O desenvolvimento de novas metodologias ou aplicação sobre novas perspectivas tem se mostrado de grande importância para o desenvolvimento do ensino, em particular, do Ensino de Física Moderna. Em especial, o Ciclo da Experiência apresentou resultados excelentes quando da sua utilização com alunos do Ensino Médio como é discutido a seguir.

A Teoria dos Construtos Pessoais de George Kelly

A Teoria está fundamentada em quatro conceitos essenciais que servem de norteadores para o entendimento do Postulado Fundamental e dos onze Corolários. Os conceitos que são as bases desta teoria são apresentados a seguir:

- **Construto.** É uma hipótese que o indivíduo elabora e utiliza para descrever pessoas, conceituar coisas ou, de uma forma mais geral, para antecipar eventos. Entenda-se por eventos, a partir de agora, situações sociais, pessoas, coisas etc. Possuem natureza dual como, por exemplo, bom-ruim, amor-desamor, gordo-magro etc. Schultz e Schultz (2004, p. 341) entendem construto como “hipótese intelectual que elaboramos para explicar os eventos da vida. Os construtos são bipolares ou dicotômicos, tais como alto *versus* baixo, honesto *versus* desonesto”.
- **Alternativismo construtivo.** É a base filosófica de toda a sua teoria. Refere-se ao fato de que as pessoas são livres para escolher a forma como vêem o mundo e seus comportamentos decorrem dessas escolhas. Há sempre caminhos alternativos a serem seguidos. “Nós assumimos que todas as nossas interpretações atuais do universo estão submetidas a revisões e reconstruções” (KELLY, 1963, p. 15 – tradução livre).

- **A metáfora do homem-cientista.** O homem, quando colocado diante de qualquer evento, elabora uma série de hipóteses que servem para descrever ou prever determinadas situações sociais, caso suas hipóteses não sejam comprovadas são rejeitadas e elaboradas novas hipóteses assim como o faz um cientista.
- **Motivação.** Nas teorias da personalidade de uma forma geral há uma busca incessante dos fatores motivacionais. Nesse ponto, Kelly diverge completamente da maioria estudiosos da personalidade e é bastante criticado por isso. Para Kelly, a motivação é algo intrínseco ao ser humano. O simples fato de estar vivo motiva-o a fazer previsões de eventos. Observe o que escreve Hall *et al* (2000, pp.333 e334) a respeito da motivação para Kelly:

(...) Kelly propôs que “motivação” é um construto desnecessário e redundante. Ele tinha duas objeções fundamentais. Primeiro, os modelos motivacionais são usados para explicar por que uma pessoa é ativa ao invés de inerte. Mas, segundo Kelly, as pessoas são ativas por definição, de modo que não precisamos explicar o “porquê” delas serem ativas: elas são ativas porque estão vivas! (...) Segundo, coerente com a ênfase no construtor, Kelly rejeitava os motivos como rótulos que impomos aos outros. Esses rótulos têm mais utilidade para compreendermos a visão de mundo da pessoa que os oferece do que o comportamento da pessoa que está sendo rotulada.

Assim, como dito anteriormente, estas quatro princípios básicos são essenciais para a compreensão de toda a teoria de Kelly, contudo, trataremos, aqui, somente do Postulado Fundamental e dos Corolários da Construção e da Experiência que servem como alicerce para este trabalho. A seguir, apresenta-se, primeiramente, uma discussão a respeito do Postulado Fundamental e do ciclo da Experiência.

O Postulado Fundamental e o Ciclo da Experiência

Os processos de uma pessoa são canalizados pelas formas como tal pessoa antecipa eventos” (KELLY, 1963, p. 46 – Tradução livre).

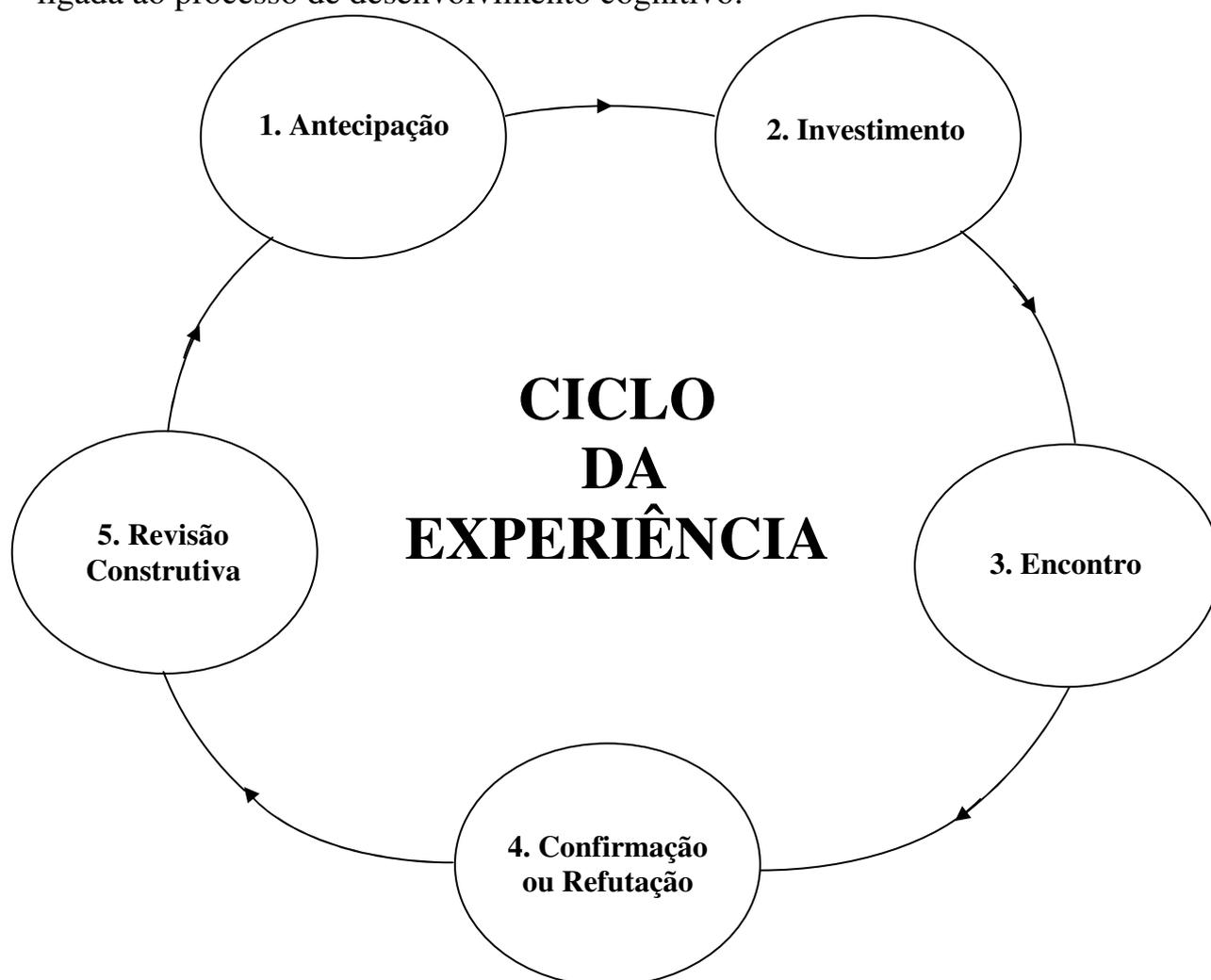
Esse postulado é o núcleo de toda a teoria de Kelly. A palavra “processos” representa o entendimento que o indivíduo possui do mundo que é conduzido (canalizado) pelo que ele acredita que vai acontecer se tomar determinada atitude (antecipa eventos). O simples fato de colocar o indivíduo diante de um evento faz com que, naturalmente, tente prever o que irá acontecer se tiver um dado comportamento. Por exemplo, ao se falar de grampeador, a pessoa imagina como ele funciona e formula, provavelmente, a hipótese de que se apertá-lo com as folhas colocadas em determinado local conseguirá grampeá-las. Para testar sua hipótese, precisa de um grampeador, então o compra em uma papelaria. Em seguida, testa esta hipótese e se, de fato conseguir grampeá-las ocorrerá uma validação de sua hipótese. Caso contrário, ela busca encontrar o erro de sua hipótese e reformulá-la, como, por exemplo, além colocar as folhas em local apropriado e apertar o grampeador é necessário que o grampeador possua grampos, ampliando o limite de validade de sua hipótese inicial. Tenta grampear novamente e, desta vez, consegue confirmando sua segunda hipótese.

A teoria de Kelly explica o que ocorreu recorrendo ao Ciclo da Experiência (CLONINGER, 1999). Os eventos são antecipados de forma que o indivíduo passa por cinco etapas como descrito a seguir:

- **Antecipação.** É o momento no qual o indivíduo prevê o evento formulando sua hipótese. No exemplo anterior, o evento é fazer o grampeador funcionar. A antecipação ocorre quando acredita que se colocar as folhas em um determinado local do grampeador e apertá-lo conseguirá grampeá-las.
- **Investimento.** Consiste em investir, de alguma forma, para participar de um evento de forma satisfatória. O investimento, no exemplo, é comprar um grampeador.
- **Encontro.** Trata-se do momento em que ocorre o evento, ou seja, no caso do grampeador, do instante em que o indivíduo vai tentar fazer o grampeador funcionar.
- **Confirmação ou Refutação.** O indivíduo testa suas hipóteses confirmando-as ou refutando-as. Ao testar o grampeador e verificar que não funcionava, o indivíduo percebeu que não bastava colocar as folhas no local apropriado e apertar o grampeador, ou seja, sua hipótese estava equivocada ou incompleta. Ao analisar e investigar a respeito do grampeador descobre que estão faltando grampos, ou seja, sua nova hipótese passa incluir a colocação de grampos.

- **Revisão Construtiva.** O indivíduo se coloca a repensar toda situação e, se for o caso, ampliar o limite de validade de sua hipótese inicial. Agora, sabe ele que, além de colocar as folhas em lugar apropriado e apertar o grampeador, precisa carregá-lo com grampos. Assim, amplia sua hipótese a respeito do funcionamento do grampeador.

É importante lembrar que para testar as novas hipóteses é utilizado novamente o ciclo e isso ocorrerá quantas vezes o indivíduo e o estudante acharem necessário. O Ciclo da Experiência (Figura 01) representa as etapas que um homem-cientista, de certa forma, utiliza em sua pesquisa, formulando sua hipótese (**antecipação**), pesquisando toda a literatura a respeito do tema em estudo (**investimento**), testando suas hipóteses (**encontro**), confirmando ou refutando suas idéias iniciais (**confirmação ou refutação**) e, finalmente, chegando as suas conclusões (**revisão construtiva**). Assim, a metáfora homem-cientista sugerida por Kelly se torna cada vez mais evidente e intimamente ligada ao processo de desenvolvimento cognitivo.



Fonte: Cloninger (1999, p. 428).

Figura 01– Esquema que representa o as cinco fases do Ciclo da Experiência

As etapas do Ciclo da Experiência têm o intuito de mostrar que, ao vivenciar novas experiências, as pessoas aumentam seus conhecimentos e possibilidades a respeito das situações vivenciadas. É razoável esperar que, ao se utilizar o Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica, se consiga bons resultados em nível de aprendizagem sistematizada, uma vez que a natureza do indivíduo é questionadora e antecipatória como a de um cientista (KELLY, 1963). Como mencionado anteriormente, o objetivo desse trabalho é verificar se, de fato, o Ciclo da Experiência de Kelly, utilizado como instrumento metodológico, é facilitador na aprendizagem do comportamento dual da luz. Finalmente, é importante destacar ainda que Bezerra (2005) obteve grande êxito na aplicação do Ciclo da Experiência de Kelly como instrumento facilitador no processo ensino-aprendizagem com alunos do Ensino Fundamental.

A seguir, serão apresentados os corolários da Construção e da Experiência que são fundamentais no entendimento deste trabalho.

Corolários da Construção e da Experiência

Corolário da Construção. *Uma pessoa antecipa eventos construindo suas cópias.* Aqui, é importante destacar os termos *antecipa* e *cópias* (HALL *et al*, 2000). O primeiro termo refere-se a tentar prever o que vai acontecer quer seja numa situação social, no comportamento de uma pessoa ou em relação a algum fenômeno físico. Diante de qualquer situação ou pessoa ou objeto ou ainda quando lembrado de algo, a atitude primeira do indivíduo é associar construtos a essa pessoa, objeto ou situação. Se alguém falar no seu chefe de trabalho, automaticamente associará a ele construtos que o definirão (para a pessoa) como, por exemplo, exigente, sério, competente, pontual etc. O mesmo ocorre no estudo de Física. Quando se fala em comportamento dual da luz a um aluno ou a um grupo de alunos, certamente, irão associar, se já tiveram algum contato, mesmo que superficial, ao termo dual, o comportamento ondulatório ou corpuscular da luz ou então, se não tiveram nenhum contato com o termo, irão imaginar que a luz deve apresentar dois tipos de comportamento associando a palavra dois à palavra dual ou poderá acontecer qualquer outra coisa dependendo do indivíduo que antecipa o evento “comportamento dual luz”. O fato é que todos antecipam o evento, ou seja, o aluno mais bem inteirado do assunto ou o aluno com conhecimento superficial, tentam, à sua maneira, *antecipar* o que vem a ser o comportamento dual da luz e isso ocorre sem a necessidade de uma motivação externa.

O outro termo a ser destacado é *cópia*. Quando, anteriormente, o indivíduo constrói os construtos relacionados ao chefe o que está fazendo é construindo uma cópia de diversas situações envolvendo seu chefe. Quando o aluno associa os termos ondulatório e corpuscular ao comportamento da luz está construindo uma cópia de algo que já viveu anteriormente, ou seja, uma leitura, uma aula ou mesmo uma palestra etc. Da mesma forma, quando o outro aluno associa a palavra dois à dual, está fazendo uso da etimologia da palavra para buscar significado naquela frase. Certamente, está repetindo um comportamento que já teve em outro momento.

Assim, a construção do sistema de construção ocorre através da antecipação de eventos, ou seja, tentando prever o que vai acontecer ou tentando descrever algo. Nesse momento, os construtos são construídos pelo indivíduo. A antecipação de eventos ocorre através da construção de suas cópias, ou seja, todas as experiências significativas que a pessoa viveu associadas ao evento serão utilizadas para tentar prevê-lo. Perceba que o papel da experiência torna-se fundamental no processo de construção do sistema de construção do indivíduo. Para um entendimento melhor a respeito do papel da experiência, apresenta-se, a seguir, o Corolário da Experiência.

Corolário da Experiência. *O sistema de construção de uma pessoa varia à medida que ela constrói sucessivamente a réplica dos eventos.* Segundo Geiwitz (1973, p. 174), “este é o corolário da aprendizagem” e Hall *et al* (2000, p. 338) reforça que “a aprendizagem faz parte do processo geral de antecipação e de reinterpretação no sistema de Kelly”. Ao antecipar eventos, construindo suas cópias, o indivíduo está construindo seu sistema de construção na medida em que associa novos construtos ou rejeita antigos construtos ou remodela-os. Como dito anteriormente, a construção de cópias de eventos está baseada nas experiências já vivenciadas pelo indivíduo. Contudo, este corolário não retrata a interpretação de uma seqüência de eventos em si, mas uma sucessiva interpretação e reinterpretação de um mesmo evento. Nas palavras do próprio Kelly:

(...) Não é o que acontece perto dele que o faz um homem experiente; é a sucessiva construção e reconstrução do que aconteceu, como aconteceu, que enriquece a experiência de vida dele (KELLY, 1963, p.63 – Tradução livre).

Interpretar e reinterpretar um determinado evento faz com que o indivíduo varie, cada vez mais, o seu sistema de construção. O indivíduo que pensa em seu chefe e associa os construtos exigente, sério, competente, pontual, se começar a pensar novamente nele poderá lembrar que em uma reunião social o seu chefe se mostrou descontraído em lugar de sério e alterar esse construto promovendo assim uma variação no seu sistema de construção. Da mesma forma, o estudante ao classificar o comportamento dual da luz em ondulatório e corpuscular em um primeiro momento, após uma reinterpretação do evento “comportamento dual da luz” associa ela os fenômenos da reflexão, refração, difração e Efeito Fotoelétrico. Uma próxima revisão poderia incluir novos fenômenos (como interferência e Efeito Compton) ou agrupamento dos fenômenos em ondulatórios e corpusculares. Em seguida, poderia reinterpretar mais uma vez sugerindo que um determinado fenômeno considerado ondulatório passasse a ser considerado corpuscular e vice-versa. De qualquer forma, a interpretação e reinterpretação de um evento fazem o indivíduo variar seu sistema de construção, ampliando, reestruturando ou descartando construtos. Observe que o processo de mudança não segue nenhuma ordem universal de desenvolvimento como na teoria de Freud (CLONINGER, 1999). Ele não diz nada a respeito da mudança porque não há regra a ser seguida a todo instante e em cada evento, ou melhor, a cada interpretação ou reinterpretação de evento a variação do sistema de construção do indivíduo ocorre naturalmente.

Investigando a Proposta

A pesquisa foi realizada com alunos de duas escolas da rede particular de ensino da cidade de Recife e envolveu uma terceira escola também da rede particular de ensino que foi utilizada como local da intervenção didática por possuir o ambiente adequado e os recursos necessários disponíveis para a prática. Foram convidados 22 alunos para participarem da pesquisa, sendo 18 alunos da 2ª série do Ensino Médio do Colégio A e 4 alunos da 3ª série do Ensino Médio do colégio B. Contudo, apenas 8 alunos da escola A e 3 alunos da escola B participaram de todas as etapas da pesquisa. Todos com idade entre 15 e 17 anos. O critério utilizado para convidar os alunos foi o grau de interesse em relação a temas relacionados com Física e, mais especificamente Física Moderna, apresentado pelos mesmos durante o 1º semestre do ano letivo de 2005, no caso do colégio A, e durante o ano letivo de 2004 e o 1º semestre letivo de 2005, no caso do colégio B. Formar o grupo pesquisado com alunos da 2ª e 3ª séries do Ensino Médio justifica-se na medida em que pretendeu-se avaliar se as experiências vividas pelos alunos influenciariam na variação de seu sistema de construção como propõe Kelly (1963). O intuito foi de verificar como os alunos dessas diferentes séries se comportariam diante da tentativa de compreensão de conceitos relativos à Física Moderna como no trabalho de Coelho (1995), mais especificamente, em relação ao comportamento dual da luz. A diferença no

quantitativo de alunos também é justificada pela diferença no quantitativo de alunos dos dois colégios. O colégio A tem 7 turmas da 2ª série do Ensino Médio com cerca de 60 alunos cada, tendo assim um universo amostral muito maior que o colégio B que possui apenas 1 turma da 3ª série do Ensino Médio com cerca de 30 alunos.

Aplicação da Proposta. A pesquisa foi estruturada em forma de intervenção utilizando as cinco etapas do Ciclo da Experiência, antecipação, investimento, encontro, confirmação ou reconfirmação e revisão construtiva distribuídas em três aulas, sendo a primeira e terceira com duração de 1 hora e 40 minutos e a segunda aula com duração de 2 horas (como mostram os planos de aulas nos apêndices A, B e C). A parte expositiva das três aulas foi apresentada com o artifício do datashow e do quadro. Também foram realizadas experiências de fácil elaboração como produção de ondas estacionárias em uma corda, formação da figura de interferência luminosa com um laser e um fio de cabelo e colisão entre bolinhas de gude. Em relação às etapas do ciclo da experiência, as aulas foram divididas da seguinte forma:

- **Aula 1. *Antecipação e Investimento.*** Compareceram a esta aula 16 alunos, sendo 13 alunos da escola A (2ª série do Ensino Médio) e 3 alunos da escola B (3ª série do Ensino Médio). O objetivo da primeira etapa do ciclo, a *antecipação*, foi de fazer com que os alunos construíssem réplicas de eventos semelhantes aos que iriam vivenciar, ou seja, fazer com que eles lembrassem de aulas, seminários, palestras, trabalhos de pesquisa já realizados com suas participações a fim de gerar expectativas (criação de hipóteses) sobre conceitos relativos ao tema abordado e, em particular, o comportamento dual da luz. Além disso, esse primeiro encontro também tinha o objetivo de incentivar os alunos na busca de mais informações a respeito do tema a ser estudado. Antes de dar início à aula, os alunos foram avisados que as aulas seriam filmadas. A aula iniciou-se com a apresentação da pesquisa e os devidos agradecimentos à participação de todos. Em seguida, ocorreu a aplicação do pré-teste que constava de 8 perguntas subjetivas, sendo a primeira a respeito de sua experiência anterior com o tema e as restantes relacionadas com conceitos físicos referentes ao comportamento dual da luz e, em particular, em relação ao fenômeno do Efeito Fotoelétrico (Apêndice D). Estas perguntas foram elaboradas a partir de grandezas físicas ou definições consideradas relevantes para o entendimento do comportamento dual da luz e, mais especificamente, do Efeito Fotoelétrico. Esta relevância foi constatada a partir de textos do Ensino Médio e do ciclo básico do Ensino Superior (ver Apêndice E). Após as respostas dos pré-testes, sortearam-se letras entre os alunos que serviram para identificá-los nas diversas atividades a fim de deixá-los menos inibidos quando tiveram que se identificar em alguma atividade. Os alunos foram convidados a descreverem

simultaneamente, em um cartaz colado no quadro, as características e fenômenos relacionados com as partículas e com as ondas identificando suas colocações com suas respectivas letras. O próximo passo foi uma breve leitura das respostas para verificar as hipóteses prévias criadas tentando não fornecer ainda nenhum indício das respostas aceitas de acordo com os modelos vigentes, das respostas que foram consideradas corretas. Tentou-se compreender as hipóteses criadas pelos alunos para descrever partícula e para descrever onda. Neste momento, encerrava-se a primeira etapa do ciclo, a *antecipação*, cujo intuito era fazer com que os alunos criassem suas hipóteses previamente.

Para garantir o cumprimento da segunda etapa, o *investimento*, os alunos receberam o texto 1 de Ben-Dov (1996) – ver anexo C – e foi pedido que fizessem a leitura durante a aula anotando as dúvidas em papel específico recebidos por eles. Como já estava no final da aula, a leitura completa foi realizada por quase todos, contudo não houve anotações de dúvidas. Pediu-se àqueles que não terminaram a leitura que o fizessem em casa e trouxesse as dúvidas na próxima aula. Foi entregue a todos o texto 2 de Ben-Dov (1996) – ver anexo D – complemento do texto 1, e pedido que todos lessem e anotassem as dúvidas para serem recolhidas e discutidas na aula seguinte. Além disso, com o intuito de garantir que o investimento fosse cumprido, sugeriu-se que os alunos realizassem uma pesquisa a respeito de Efeito Fotoelétrico para descobrir algo mais sobre o comportamento dual da luz. Após o final da aula, os alunos fizeram bastantes perguntas destacando-se duas que se referiam ao texto 1 e uma que se referia aos fenômenos ondulatórios.

- **Aula 2. Encontro.** Compareceram a esta aula 12 alunos, sendo 9 alunos da escola A (2ª série do Ensino Médio) e 3 alunos da escola B (3ª série do Ensino Médio). O objetivo desta etapa foi estabelecer as principais diferenças entre fenômenos ondulatórios e fenômenos corpusculares (relativo a partículas), além de caracterizar onda e partícula. O planejamento desta aula (Apêndice B) teve de ser alterado em virtude das dúvidas apresentadas no final da aula anterior. A aula iniciou-se pedindo aos alunos as anotações sobre as dúvidas dos textos 1 e 2. Contudo, somente 1 aluno entregou com duas dúvidas suas e uma de um outro colega. Todas as dúvidas se referiam aos textos. Em seguida, deu-se início as devidas explicações a respeito das dúvidas da aula anterior. A experiência do Efeito Fotoelétrico de Philip Lenard e suas expectativas foram apresentadas seguidas da hipótese que Einstein formula para explicar tal experiência. As características de ondas e de partículas foram descritas bem como os fenômenos associados a elas como reflexão, refração, interferência e difração no caso das ondas e colisões no caso das partículas. Para elucidar melhor as características de uma onda

como a não propagação de matéria, seu comprimento de onda e sua frequência foram produzidas ondas estacionárias em uma corda. Para uma melhor compreensão dos fenômenos da difração e da interferência luminosa foi realizada a experiência com um fio de cabelo e um laser. A colisão de partículas foi retratada com bolinhas de gude. Em seguida, explicou-se a experiência do Efeito Fotoelétrico de acordo com a hipótese de Einstein e com as idéias apresentadas a respeito de ondas e partículas. No último momento da aula, discutiram-se algumas aplicações do Efeito Fotoelétrico como o aparelho de CD (foi mostrado um aparelho aberto e localizada a região da fotocélula) e o fotômetro (aparelho utilizado por fotógrafos para medir a intensidade de luz). Novamente, após o término da aula, alguns alunos apresentaram dúvidas a respeito das discussões apresentadas.

- **Aula 3. Validação e Revisão Construtiva.** Compareceram a esta aula 11 alunos, sendo 8 alunos da escola A (2ª série do Ensino Médio) e 3 alunos da escola B (3ª série do Ensino Médio). O objetivo desta aula foi fazer com que os alunos confirmassem ou rejeitassem a hipótese construída por eles na etapa da *antecipação* ou ainda criassem uma nova hipótese, além de, ao revisar tudo que foi aprendido, promover, de fato, a variação no seu sistema de construção. Mais uma vez, o planejamento da aula (Apêndice C) teve de ser alterado em virtude das dúvidas apresentadas após o término da aula 2. A aula iniciou-se com uma revisão a respeito dos conceitos e teorias abordadas na aula 2. As características das ondas e das partículas foram confrontadas. Foi apresentado um quadro contendo os problemas relacionados ao Efeito Fotoelétrico com a expectativa da teoria ondulatória e com as explicações da teoria corpuscular. Nesta etapa, os alunos foram questionados sobre suas dúvidas iniciais a fim de validar ou refutar de vez suas hipóteses iniciais. A seguir foi realizada uma espécie de “simulação” utilizando os alunos fazendo o papel das placas metálicas, de fontes de luz vermelha e violeta e dos elétrons com o intuito de se fazer uma *revisão construtiva* a respeito do fenômeno. Em seguida, foi pedido aos alunos que colocassem novamente as características e os fenômenos associados às ondas e às partículas em um novo cartaz colado no quadro se identificando através das letras que receberam na aula 1. A etapa seguinte seria responder individualmente e por escrito duas perguntas, a primeira sobre as diferenças entre onda e partícula e a segunda e respeito do Efeito Fotoelétrico, que foi feita oralmente a julgar pelo nível de conhecimento já apresentado pelos alunos. Finalmente, os alunos foram convidados a responder o pós-teste que constava das mesmas questões do pré-teste (Apêndice D). Ao tentar responder a questão 6, alguns alunos se mostraram angustiados na busca pela resposta correta, então, por julgar que aquela questão se referia a tópicos que não foram trabalhos diretamente no Ciclo da Experiência e não atrapalhou o andamento das atividades devido aos conhecimentos prévios dos alunos (ver anexos A e B

para ver os assuntos tratados por eles anteriormente no colégio), foi explicado a todos o significado de potencial elétrico e diferença de potencial elétrico abordados naquela questão.

Apesar deste trabalho fazer parte de uma pesquisa mais ampla, envolvendo pré-testes e pós-testes, apresenta-se, aqui, a discussão dos resultados referentes a produção realizada nos cartazes como pode constatar-se a seguir.

Análise dos Resultados

A análise dos cartazes consistiu, primeiramente, na identificação de quem tinha escrito cada frase ou compartilhado da frase escrita por outra pessoa. Em seguida, foi comparada as características e fenômenos associados à onda e à partícula antes e depois da aplicação do Ciclo da Experiência. As categorias elaboradas serviram para classificar as frases em relação às características e fenômenos das ondas e das partículas. Assim, as categorias elaboradas foram:

Quadro 01 – Descrição e avaliação das categorias dos cartazes.

	Categorias	Avaliação
1	Não fez nenhum comentário.	Insuficiente
2	Definiu equivocadamente.	Insuficiente
3	Apresentou apenas a definição ou citou apenas um fenômeno/característica.	Suficiente
4	Apresentou a definição e/ou citou um fenômeno/característica.	Suficiente
5	Apresentou a definição e/ou citou dois ou mais fenômenos/características.	Suficiente

Aqui, entende-se por fenômeno ondulatórios a reflexão, refração, difração e interferência e como característica a distribuição contínua de matéria através do espaço em oposição ao movimento de matéria e distribuição discreta de energia. O fenômeno tipicamente corpuscular é a colisão, além disso, as partículas possuem como característica a distribuição discreta de energia, a propagação de matéria e a não ocorrência dos fenômenos ondulatórios citados anteriormente. A definição de partícula utilizada como parâmetro foi:

Um objeto poderá ser representado como partícula (isto é, como massa puntiforme) se cada pequena parte dele (digamos, cada átomo) mover-se exatamente do mesmo modo (HALLIDAY e RESNICK, 1994, v. 1, p. 11).

A definição de onda abordada sugere que:

(...) onda é uma larga distribuição de energia, preenchendo o espaço pelo qual ela passa (HALLIDAY e RESNICK, 1994, v.2, p. 109).

A partir destas duas definições foram classificadas as frases escritas nos cartazes de acordo com as categorias descritas anteriormente.

A tabela 01 mostra a categoria em se enquadra a resposta de cada aluno antes e após a aplicação do Ciclo da Experiência.

Tabela 01 – Categorização da produção nos cartazes

	Onda		Partícula	
	Pré-Ciclo	Pós-Ciclo	Pré-Ciclo	Pós-Ciclo
Aluno 1	1	5	1	5
Aluno 2	2	5	1	5
Aluno 3	1	5	1	5
Aluno 4	3	5	2	5
Aluno 5	3	5	2	5
Aluno 6	3	5	2	5
Aluno 7	3	5	1	4
Aluno 8	1	5	2	5
Aluno 9	3	5	1	5
Aluno 10	3	5	3	5
Aluno 11	4	5	1	4

Uma breve inspeção visual no quadro anterior leva a aparente conclusão de que quase a totalidade de alunos conseguiu atingir o nível de desempenho muito bom. Para uma efetiva conclusão observe a análise percentual para os dois casos, das ondas e das partículas.

A figura 02, apresentada a seguir, retrata a produção nos cartazes a respeito das características, fenômenos e definição de uma onda.

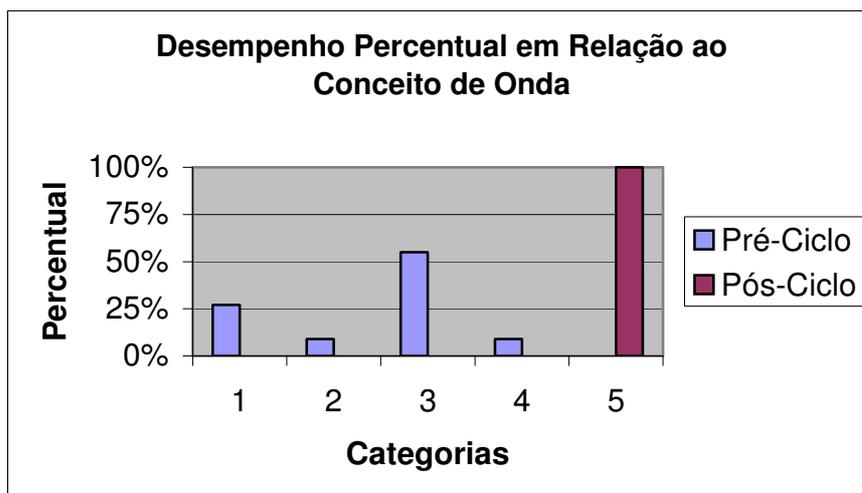


Figura 02 – Gráfico de desempenho em relação ao conceito de onda.

Observando a figura anterior, percebe-se que, antes da aplicação do ciclo, 55% das afirmações dos alunos apresentaram conceito mediano e apenas 9% (afirmação de um aluno) apresentou conceito bom. Constatou-se que, apesar de nenhum aluno conseguir fazer afirmações com conceito muito bom, mais da metade destas afirmações (64%) possuíam uma boa noção a respeito das particularidades de uma onda. Provavelmente, isto se deve ao fato de que os 3 alunos do colégio B estudaram ondas no primeiro semestre do ano letivo de 2005 e também 3 alunos do colégio A participaram de um ciclo de eventos sobre Física Moderna em seu colégio.

Após a aplicação do ciclo, 100% das afirmações dos alunos passam a possuir conceito muito bom, sugerindo que todos passaram a ter uma excelente idéia do que é uma onda bem como dos fenômenos e características da mesma. Observe como os alunos se referiram às ondas:

“Se caracteriza pelo transporte de energia e não de matéria” (oc).

“Energia se propaga uniformemente pelo meio” (oc).

O termo “uniformemente” utilizado na segunda frase parece querer dizer continuamente uma vez que os alunos no mesmo cartaz colocaram que partícula possui energia concentrada em um único ponto do espaço querendo retratar a distribuição discreta de energia.

A variação no sistema de construção dos alunos no que diz respeito a idéia de onda foi bastante significativa uma vez que passaram não somente a defini-la

corretamente, mas também perceber quais fenômenos são tipicamente ondulatórios. Então, percebe-se o excelente resultado na utilização do Ciclo da Experiência como ferramenta metodológica.

A figura 03 apresenta o desempenho dos alunos em relação ao entendimento do que vem a ser uma partícula bem como outros aspectos relacionados a ela.

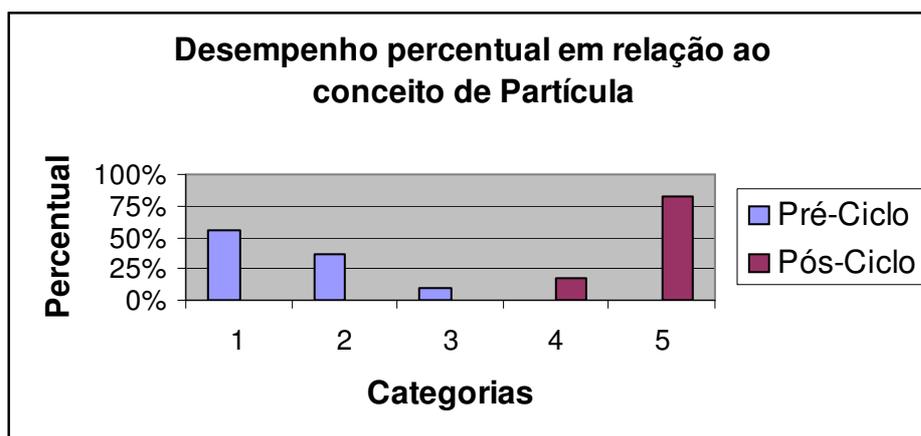


Figura 03 – Gráfico de desempenho em relação ao conceito de partícula.

A figura anterior mostra a dificuldade que, inicialmente, os alunos possuíam em definir adequadamente o conceito de partícula. Maior parte deles, aproximadamente 55%, preferiram não fazer nenhum comentário. Os alunos que tentaram definir partícula, cerca de 36%, acabaram, possivelmente por influência dos professores de Ensino Médio e dos livros didáticos, colocando que partícula é algo que possui tamanho desprezível em relação às dimensões envolvidas na situação. Observe o comentário escrito no cartaz e assinado por dois alunos:

“Dimensão inexpressível (em relação ao espaço)” (oc).

A figura 3 ainda mostra a evolução de forma bastante clara, onde as afirmações dos alunos passam das categorias 1, 2 e 3 para as categorias 4 e 5 atingindo um percentual de 82% das afirmações com conceito muito bom. Assim como no caso do tratamento dado à onda, o ciclo se mostrou bastante eficaz uma vez que apenas 18% das afirmações não atingiram o conceito muito bom, classificando-se como bom. Observe algumas colocações pós-ciclo:

“Uma partícula só é partícula quando todos seus pontos encontram-se no mesmo movimento” (oc).

“Energia concentrada em um único ponto do espaço”
(oc).

Em relação ao comentário inicial houve uma evolução considerável na forma de definir partícula como se pode constatar, mesmo assim, ainda há uma pequena confusão entre partícula de uma forma geral e partícula de luz, fóton como se observa na segunda afirmação.

Contudo, é importante lembrar que esta é uma atividade realizada simultaneamente e que muitos alunos não escreveram novas frases, simplesmente concordaram com as colocações dos colegas, mas, ainda assim, acredita-se em um excelente resultado, uma vez que a totalidade dos alunos atingiram níveis de conhecimentos científicos desejáveis.

Considerações Finais

Os resultados obtidos são animadores, pois, no trabalho realizado com os dois conceitos, de onda e de partícula se atingiu a totalidade das respostas desejadas como apresentado a seguir:

- A respeito do conceito e das características de ondas, consegue-se um progresso de 64% das respostas aceitas como corretas para 100%. O alto índice inicial das respostas corretas indica que, provavelmente, os alunos já haviam participado de algum evento envolvendo o tema e, devido a suas revisões, atingido um grau satisfatório de aprendizado. Entretanto, é importante ressaltar a eficiência do Ciclo da Experiência, uma vez que, após sua aplicação, todos os alunos passam a compreender, de forma completa, os fenômenos relativos ao comportamento ondulatório.
- A respeito do conceito e das características de partícula, o resultado é ainda mais animador. Nenhum aluno conseguiu, inicialmente, definir corretamente o conceito de partícula e, após a aplicação do ciclo, todos os alunos passaram a ter respostas desejáveis. A dificuldade inicial é apresentada devido a idéia errônea dos livros de Ensino Médio e também de alguns professores de que um corpo é considerado partícula quando suas dimensões são desprezíveis. Dificuldade que foi difícil de ser transposta por já está acomodada no sistema de construção de alguns alunos, mas, com a aplicação do ciclo, foi superada.

Enfim, observa-se a eficácia na utilização deste ciclo nos resultados apresentados anteriormente. Certamente, outras investigações a respeito da

utilização do ciclo se fazem necessárias como, talvez, aplicar para uma maior quantidade de alunos como é a realidade da sala de aula brasileira ou, ainda, em outras áreas da ciência.

Referências

BEN-DOV, Y. *Convite à Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1995, 2005.

BEZERRA, G. B. *Investigando o Desenvolvimento da Concepção de Interdependência entre os Elementos da Biosfera, com Alunos do Ensino Fundamental I*. Recife, 2005. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.

CHEVALLARD, Y. *La Transposición Didáctica – Del saber sabio al saber enseñado*. Buenos Aires: Alque, 1991.

CLONINGER, C. S. *Teorias da Personalidade*. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

DAVIES, N. O Governo Lula e a Educação: a deserção do estado continua? *Educação e Sociedade*, Campinas, v. 25, n. 86, p. 245-252, abril 2004.

GEIWITZ, J. *Teorias não-freudianas da personalidade*. São Paulo: E.P.U., 1973

HALL, C. S.; LINDZEY, G. *Teorias da Personalidade*. São Paulo: E.P.U., 1984.

HALL, C. S.; LINDZEY, G.; CAMPBELL, J. B. *Teorias da Personalidade*. Porto Alegre: Artmed, 2000.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 1.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v. 2.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1995. v. 4.

KELLY, G. *A Theory of Personality – The psychology of personal constructs*. New York: W. W. Norton, 1963.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. v. 1.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. v. 4.

PIAGET, J. *Para onde vai a educação?* Rio de Janeiro: Livraria José Olympio, 1973.

PECK, D.; WHITLOW, D. *Teorias da Personalidade*. Rio de Janeiro: Zahar, 1976

RODRIGUES, G. M. *A Abordagem do Conceito de Energia através de Experimentos de Caráter Investigativo, numa Perspectiva Integradora*. Recife, 2005. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências). Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.

SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E. *Teorias da Personalidade*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

APÊNDICE G
NORMAIS PARA O ENVIO DE TRABALHOS AO CADERNO BRASILEIRO DE
ENSINO DE FÍSICA (CBEF)

1. Nome completo do(s) autor(es) e do(s) estabelecimento(s) onde trabalha(m), com seu(s) respectivo(s) endereço(s), **em folha separada do corpo do artigo.**
2. Original em três vias.
3. Apresentação de um resumo no idioma do respectivo artigo.
4. Apresentação de um resumo em inglês (se possível).
5. Indicação de palavras-chave no idioma do artigo e, se possível, também em inglês.
6. Ilustrações bem nítidas.
7. Fotos em preto e branco.
8. Referências bibliográficas seguindo as normas da ABNT, ao final do texto.
9. O artigo deve ter, no máximo, 25 páginas (em letra tamanho 14, pelo menos, 18 pt).

ANEXOS

ANEXO A - Programa de Física do colégio A

1ª série do Ensino Médio:

- Cinemática (1º semestre)
- Dinâmica (1º e 2º semestres)
- Trabalho, Energia Mecânica e sua Conservação (2º semestre)
- Impulso e Quantidade de Movimento (2º semestre)

2ª série do Ensino Médio:

- Estática (1º semestre)
- Gravitação (1º semestre)
- Fluidos (2º semestre)
- Termologia (2º semestre)
- Óptica Geométrica (1º e 2º semestres)
- Eletrostática (1º semestre)
- Eletrodinâmica (2º semestre)

3ª série do Ensino Médio:

- Mecânica (1º e 2º semestres)
- Eletromagnetismo (1º e 2º semestres)
- Termologia (1º semestre)
- Óptica (2º semestre)
- Ondas (2º semestre)
- Física Moderna (2º semestre)

ANEXO B - Programa de Física do colégio B

1ª série do Ensino Médio:

- Cinemática (1º semestre)
- Dinâmica (2º semestre)
- Trabalho, Energia Mecânica e sua Conservação (2º semestre)

2ª série do Ensino Médio:

- Trabalho, Energia Mecânica e sua Conservação (1º semestre)
- Estática (2º semestre)
- Fluidos (2º semestre)
- Eletrostática (1º semestre)
- Eletrodinâmica (2º semestre)

3ª série do Ensino Médio:

- Mecânica (1º e 2º semestres)
- Eletromagnetismo (1º e 2º semestres)
- Termologia (2º semestre)
- Óptica (2º semestre)
- Ondas (1º semestre)
- Física Moderna (2º semestre)

ANEXO C – Texto 1 de Yoav Ben-Dov

PARTÍCULAS E ONDAS

A cor não é, portanto, uma propriedade total mente objetiva da luz. Mas o que é a própria luz? No século XVII, duas teorias se opunham a esse respeito. A primeira afirmava que a luz é uma substância, uma entidade física autônoma que emana dos corpos luminosos. A segunda sustentava que a luz é uma propriedade de um substrato existente entre os corpos materiais, uma perturbação que se propaga no espaço. O adepto mais eminente da primeira teoria foi Newton, que considerava a luz um fluxo de partículas que se deslocam no espaço vazio. Essa hipótese permitia explicar várias propriedades elementares da luz, sobretudo seu deslocamento retilíneo ou - à maneira de bolinhas elásticas que ricocheteassem contra uma parede - sua reflexão por um espelho. Newton explicou sua experiência de refração através de um prisma postulando que uma luz de determinada cor corresponde a um tipo específico de partículas, a luz branca sendo uma mistura de partículas de tipos diferentes. Por ocasião da penetração no prisma, as partículas correspondentes a cores diferentes são desviadas segundo ângulos diferentes, e a luz branca emerge do prisma decomposta em um leque de cores, formando o arco-íris.

A teoria contrária, que faz da luz uma propriedade de um substrato presente entre os corpos, era anterior a Newton e havia sido defendida por Descartes. Como mencionamos no capítulo 6, Descartes pensava que o espaço é cheio de uma matéria sutil, batizada de "éter". Segundo sua teoria, a luz é uma perturbação - uma pressão - que se propaga através do éter e influencia nossa retina. Observemos contudo que Descartes não foi sempre fiel a sua própria concepção de luz. Em sua *Dióptrica*, ele demonstra a lei da refração - também chamada lei de Snell, a partir do nome de Willebrord Snell, que a descobriu por via experimental em 1621 - recorrendo a um modelo corpuscular análogo ao que Newton iria elaborar.

Descartes pensava também que a luz se propaga instantaneamente, isto é, que tem uma velocidade infinita. Isso significava, em particular, que o instante em que vemos um evento astronômico se produzir é independente da distância que separa a Terra do lugar onde ele ocorreu. Ora, cerca de um quarto de século após a morte de Descartes, o astrônomo dinamarquês Ole Römer observou que, em função da posição ocupada pela Terra em sua órbita em torno do Sol, os eclipses de Io, um satélite de Júpiter, apresentavam uma

periodicidade variável. Deduziu disso que a luz se propaga em uma velocidade finita e chegou até a calcular essa velocidade. O valor que encontrou é bastante próximo dos 300.000 quilômetros por segundo que obtemos atualmente com a ajuda de instrumentos de medida muito precisos.

Como o próprio Descartes havia declarado que a finitude da velocidade da luz representaria um golpe fatal para sua física, o conjunto de seu "sistema do mundo" foi rejeitado; conservou-se, porém, sua concepção da luz-propriedade do espaço. Esta chegou mesmo a conhecer um desenvolvimento importante graças aos trabalhos de Christiaan Huygens, o pai da teoria ondulatória da luz. Segundo Huygens, a luz é uma perturbação que se propaga em velocidade constante no éter, à maneira das ondulações concêntricas provocadas pelo lançamento de uma pedra em uma superfície de água calma. Após ter elaborado métodos geométricos que permitiam calcular a progressão da frente de onda - o conjunto dos pontos simultaneamente atingidos pela onda - Huygens interpretou diversos fenômenos, como a reflexão da luz por um espelho ou sua refração quando da travessia de uma superfície de vidro. Notemos, contudo, que Huygens via nessas ondas fenômenos transitórios não periódicos, que se amorteciam à medida que se propagavam. Só mais tarde se impôs a representação da luz por uma vibração verdadeiramente periódica, ou seja, por uma sucessão alternada e regular de côncavos e cristas.

Se a teoria corpuscular de Newton e a teoria ondulatória de Huygens explicavam quase os mesmos fenômenos, as hipóteses de que partiam eram totalmente diferentes. Por razões de coerência, mas também - e sobretudo - por causa do prestígio associado ao nome de Newton, a maioria dos físicos do século XVIII privilegiou a teoria corpuscular. Depois, no início do século XIX, a teoria ondulatória voltou a encontrar adeptos, sobretudo após a invenção de aparelhos ópticos que permitiam medir com precisão dois fenômenos tipicamente ondulatórios: as interferências e a difração da luz.

As interferências resultam do encontro de duas ondas periódicas. Quando essas duas ondas se superpõem em um momento em que ambas estão em um máximo, elas se reforçam mutuamente e formam uma onda duas vezes mais elevada. Em contrapartida, se uma está em um máximo e a outra em um mínimo, elas se anulam mutuamente. Assim, a superposição de duas ondas produz em certos locais uma onda mais intensa e em outros uma onda mais fraca, ou até nula. No caso das partículas, jamais se observam interferências: dois fluxos de

partículas sempre se reforçam. Além disso, o fluxo resultante jamais se anula: o número de partículas que o compõem é sempre a soma das partículas dos fluxos individuais.

A difração, por sua vez, resulta do encontro de uma onda com um obstáculo: a onda se difunde em torno do obstáculo, chegando até a locais situados atrás dele. Se o obstáculo é uma tela com uma pequena perfuração, a onda contorna as bordas da fenda e se dispersa em leque. Como essa dispersão não é isotrópica, ela desenha um motivo bastante complexo, característico da interferência de partes da onda procedentes de diferentes pontos da fenda. Também este fenômeno jamais é observado em se tratando de um fluxo de partículas: segundo o princípio de inércia, partículas não submetidas à ação de uma força se movem em linha reta, não podendo, portanto, contornar um obstáculo. Mesmo se admitirmos que as bordas do obstáculo exercem forças que desviam as partículas de suas trajetórias retilíneas, é muito difícil encontrar uma expressão matemática para essas forças que justifique a estrutura característica da difração. Além disso, a lógica física que conduziria à existência de forças tão complexas é das mais reduzidas. Assim, a difração também está associada unicamente às ondas.

Observemos que a difração e as interferências só se manifestam se os parâmetros que definem a geometria do sistema físico - por exemplo, o tamanho da fenda na tela - tiverem dimensões comparáveis ao comprimento da onda, isto é, à distância entre duas cristas consecutivas. Como os comprimentos de onda da luz visível são muito pequenos - da ordem do décimo de milésimo de milímetro - é praticamente impossível observar casos de difração ou de interferências luminosas na vida comum, quando não se dispõe de instrumentos ópticos muito sensíveis. Imaginemo-nos sentados em um cômodo, longe da janela. Se um carro passa na rua, só o vemos quando ele atinge o nível da janela: de fato, a luz tem comprimentos de onda muito pequenos em relação às dimensões da janela para que sua difração pelas bordas desta produza uma imagem sensível. Em contrapartida, como as ondas sonoras - que são vibrações periódicas do ar - possuem comprimentos de onda de algumas dezenas de centímetros, comparáveis, portanto, à largura da janela, ouvimos o carro mesmo quando ele não está exatamente diante da janela.

Os fenômenos de interferência e de difração luminosas já eram conhecidos no século XVII, mas as medidas da difração não eram suficientemente precisas para que delas se pudesse extrair conclusões seguras. O próprio Newton observou interferências à passagem da luz

entre duas lâminas de vidro separadas por uma cunha de ar: pousando uma lente esférica sobre uma superfície plana de vidro, ele obteve uma série de anéis concêntricos alternativamente escuros e luminosos, que passaram a ser chamados "anéis de Newton". Interpreta-se esse fenômeno considerando que os pontos situados a uma distância fixa em relação às duas superfícies vítreas formam um círculo centrado no eixo de simetria da lente. Os raios refletidos pelas duas superfícies de vidro interferem então para criar, segundo a distância, reforços de onda (anéis luminosos) que se alternam com anulações (anéis escuros).

Newton rejeitou a natureza ondulatória da luz, mas aceitou a existência do éter. Assim, explicou o aparecimento dos anéis dizendo que os choques sofridos pelas partículas luminosas em uma das superfícies de vidro desencadeiam vibrações do éter que, alternativamente, bloqueiam e favorecem a passagem das partículas luminosas para a outra superfície. Medindo o comprimento de onda dessas vibrações, ele mostrou que cada cor possui um comprimento de onda bem definido. Segundo ele, no entanto, essas vibrações do éter eram apenas uma propriedade fortuita da luz, dependente das circunstâncias, sendo a luz ela própria de natureza corpuscular.

Em 1801, Thomas Young demonstrou interferências geradas pela passagem de um pincel luminoso através de duas fendas vizinhas muito estreitas. Como não era possível interpretar esse fenômeno pelos choques de partículas com uma superfície - como no mecanismo proposto por Newton para explicar seus anéis -, Young concluiu pela inexistência das partículas luminosas e pela generalidade do caráter vibratório da luz: esta seria uma vibração periódica do éter. Assim, ele associava a noção de frente de onda de Huygens e a de vibração periódica, devida a Newton. Um pouco mais tarde, Augustin Fresnel, igualmente adepto da teoria ondulatória da luz, elaborou métodos matemáticos que lhe permitiram não só determinar com precisão as propriedades quantitativas das interferências e da difração, como prever fenômenos ainda não observados.

Um desses fenômenos atraiu especial atenção. Em 1819, tendo a Academia das Ciências de Paris promovido um concurso de ensaios sobre a luz, Fresnel apresentou um memorial sobre seus trabalhos. Denis Poisson, membro do júri e partidário da teoria corpuscular da luz, acreditou encontrar nessa dissertação uma refutação da teoria ondulatória. Mostrou que, com base nos cálculos de Fresnel, um raio luminoso que encontrasse um obstáculo circular de pequenas dimensões devia criar, no centro do círculo de sombra projetado pelo objeto, um

ponto luminoso resultante da superposição das ondas difratadas. Segundo Poisson, tal possibilidade parecia contrária ao bom senso e invalidava a teoria de Fresnel. François Arago, também membro do júri mas, ao contrário de Poisson, adepto da teoria ondulatória da luz, fez a experiência e constatou que o “ponto de Poisson” efetivamente aparecia. Fresnel recebeu o prêmio da *Academia* e, nos anos seguintes, a teoria ondulatória da luz registrou outros sucessos que acabaram por convencer os físicos de sua legitimidade.

ANEXO D – Texto 2 de Yoav Ben-Dov

UM MISTERIO A ELUCIDAR

Nem todo mundo, contudo, estava convencido. Jean-Baptiste Biot, outro membro do júri da Academia, continuou a defender a teoria corpuscular. Ele tentou interpretar a difração por meio de forças que agiriam sobre as partículas luminosas e seriam análogas às que descrevemos acima. Mas, como suas explicações se tornavam cada vez mais complexas à medida que tentavam explicar novos fenômenos observados, logo ficou claro que Biot travava uma batalha perdida de antemão.

A controvérsia sobre a natureza da luz encontrou sua conclusão em meados do século XIX, sobretudo após uma experiência sobre a velocidade da luz em um meio transparente. As teorias corpuscular e ondulatória explicavam a refração da luz e a lei Descartes-Snell fornecia a direção do raio refratado com base em hipóteses contrárias. A teoria corpuscular supunha que os corpúsculos luminosos sofrem uma aceleração ao penetrar em um meio mais denso e, portanto, que a velocidade da luz no vidro ou na água é superior a sua velocidade no ar. A teoria ondulatória supunha exatamente o contrário: as ondas luminosas se tornam mais lentas ao penetrar em um meio mais denso, e a velocidade da luz na água ou no vidro é inferior a sua velocidade no ar. Diante disso, Arago sugeriu que se realizasse uma "experiência crucial" que, comparando as velocidades da luz no ar e na água, resolveria definitivamente essa questão. Se a luz se propagasse mais depressa na água, disso se deduziria que ela é um fluxo de corpúsculos; se ela se propagasse em velocidade menor, caberia deduzir que é uma onda. Essa alternativa é um exemplo notável do modo como o método científico pode obter respostas claras e unívocas quando interroga a natureza.

Os cientistas tiveram de esperar por várias décadas os progressos tecnológicos que permitiram medições suficientemente precisas para viabilizar a experiência de Arago. Leon Foucault, a quem já encontramos no capítulo 2, a realizou finalmente em 1850 e encontrou um resultado que não deixava lugar a nenhuma ambigüidade: a velocidade da luz na água é inferior à sua velocidade no ar, e a diferença entre as duas velocidades é exatamente igual ao valor previsto pela teoria ondulatória. Logo, a luz é uma onda. O próprio Biot se convenceu e desistiu de salvar a teoria corpuscular. Em 1864 a teoria ondulatória encontrou um reforço inesperado nos trabalhos de James Clerk Maxwell. Após ter estabelecido as equações do campo

eletromagnético, Maxwell constatou que elas tinham por solução ondas que se propagavam no espaço. Determinando posteriormente, por via teórica, a velocidade dessas ondas, ele encontrou um valor idêntico ao da velocidade da luz medida no vácuo e identificou então as ondas luminosas às ondas eletromagnéticas.

No final do século XIX, o problema da natureza da luz parecia estar definitivamente resolvido. Um século de experiências, em particular a de Foucault, parecia confirmar claramente a interpretação ondulatória. Além disso, as equações de Maxwell forneciam um suporte teórico a essa interpretação porque explicavam a natureza das vibrações que compunham as ondas luminosas: elas são um campo eletromagnético. Para Heinrich Hertz, a natureza ondulatória da luz passou então a ser um fato, uma certeza, até onde existem certezas em física.

Mesmo assim, continuaram a existir hereges e, entre eles, Pierre Duhem - cuja oposição a idéia atomista mencionamos no capítulo 6 -, para quem a natureza da realidade física era do domínio não da física, mas da filosofia ou da teologia. Ele contestou o próprio conceito de experiência crucial e, em particular, sua pertinência para determinar a natureza da luz. Segundo Duhem, a experiência de Foucault decidia não entre os dois enunciados "a luz é um fluxo de corpúsculos" e "a luz é uma onda", mas entre duas estruturas teóricas relativamente complexas, que continham cada uma várias hipóteses auxiliares necessárias para ligar a natureza da luz à sua velocidade na água. Além disso, acrescentava ele, a interpretação do resultado dessa experiência dependia igualmente de hipóteses suplementares concernentes, por exemplo, ao funcionamento dos aparelhos de medida. Ainda que a experiência invalidasse afinal a teoria corpuscular tal como esta era interpretada no século XIX, ela não indicava quais eram as hipóteses falhas contidas nessa teoria. Assim, era possível que eventualmente se revelasse que uma hipótese que não a da natureza corpuscular da luz devia ser posta em questão, e que, em um futuro mais ou menos longínquo, houvesse um retorno a uma versão melhorada da teoria corpuscular, que explicaria a experiência de Foucault. Finalmente, concluiu Duhem, talvez a limitação a duas alternativas - corpúsculos e ondas viesse a se revelar demasiado estreita, uma vez que se poderia descobrir um dia que a luz não é nem um corpúsculo nem uma onda, mas uma outra entidade física cuja natureza exata restaria elucidar. A desistência de Biot fora ditada, segundo Duhem, pelo "bom senso" e não por uma estrita obrigação lógica. Se, em meados do século XIX, o apego a teoria corpuscular não podia conduzir senão a um impasse, o "bom senso" poderia, em outras circunstâncias, indicar um

caminho diferente.

Duhem publicou essas considerações em 1904 em meio a uma indiferença quase geral. Um ano mais tarde, ao desenvolver uma idéia formulada anteriormente por Planck, Einstein afirmou que, em certos casos, a luz se comporta não como uma onda contínua, mas como um fluxo discreto de pacotes de energia. Essa idéia lhe permitiu explicar vários resultados experimentais que examinaremos no capítulo 12. Em 1917, ele demonstrou que esses pacotes de luz possuem também uma quantidade de movimento e se comportam, portanto, como partículas materiais. Nesse ínterim, ele havia sugerido - desde 1909 - que as noções corpuscular e ondulatória geravam uma teoria coerente da luz. Quando, em 1913, foi-lhe oferecida uma cátedra de física na Universidade de Berlim, suas "partículas de luz" ainda eram vistas como extravagâncias de um físico aliás bastante talentoso. Contudo, nos anos seguintes essa idéia seria reforçada pela descoberta dos fenômenos quânticos e lhe valeria, em 1922, o prêmio Nobel de física. Ela transformou a física ao desenterrar um problema que parecia definitivamente resolvido.

O que é a luz? É um corpúsculo, uma onda ou outra entidade? Após três séculos de debate, essa questão ainda esta sem resposta. Embora hoje os físicos aceitem a teoria quântica, que descreve em um mesmo quadro conceitual a matéria e a luz, veremos no capítulo 13 que a verdadeira natureza dos objetos quânticos, objetos cujo comportamento parece apresentar aspectos ao mesmo tempo corpusculares e ondulatórios, está atualmente longe de ser elucidada. Assim, o verdadeiro mistério da natureza da luz permanece inteiro.