UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS

EDSON VALENTIM ROBERTO

**Aprendizagem ativa em ótica geométrica:
experimentos e demonstrações investigativas**

São Carlos

2009

EDSON VALENTIM ROBERTO

**Aprendizagem ativa em ótica geométrica:
experimentos e demonstrações investigativas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Física Aplicada
Orientador: Prof. Dr. Tomaz Catunda

**São Carlos
2009**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pelo Serviço de Biblioteca e Informação IFSC/USP

Roberto, Edson Valentim

Aprendizagem ativa em ótica geométrica: experimentos e demonstrações investigativas./Edson Valentim Roberto; orientador Tomaz Catunda - São Carlos, 2009.

141 p.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Física - Área de concentração: Física Aplicada) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Ensino de física. 2. Aprendizagem ativa. 3. Investigação orientada. 4. Ótica geométrica. 5. Laboratório de ensino de física.

I. Título.

IFSC UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO
Instituto de Física de São Carlos

Caixa Postal 369
13560-970 São Carlos, SP
Av. Trabalhador São-carlense, 400
13566-590 - São Carlos, SP

Fone/Fax: (16) 3373. 9777
www.ifsc.usp.br
svposgrad@ifsc.usp.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Edson Valentim Roberto

Dissertação apresentada ao Instituto de Física
de São Carlos da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em Ciências.
Área de Concentração: Física Aplicada.

Aprovado em: 08/06/2009

Comissão Julgadora

Prof. Dr. Tomaz Catinda

Instituição: IFSC/USP

Assinatura

Prof. Dr. Marcelo Alves Barros

Instituição: IFSC/USP

Assinatura

Prof. Dr. Mauricio Pietrocola Pinto de Oliveira

Instituição: FE/USP

Assinatura

À minha mãezinha

*Dedico este trabalho à minha mãezinha **Marlene** (in memorian), que me incentivou nos meus
tempos de criança e de adolescência a dedicação aos estudos.*

*Hoje sei que a senhora está orgulhosa, pois seu sonho de ter seus filhos estudados e terem
uma profissão já se realizou.*

*Mãezinha, você sempre continuará presente em minha vida. Obrigada pela mãe e educadora
que você presenteou-me ser enquanto estava comigo e com a nossa família.*

*Infelizmente a senhora não pôde estar comigo nos momentos de dificuldades e de alegria na
nova casa em que morei, chamada USP.*

Minha conquista também é da nossa família.

Gratidão eterna!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pelas muitas graças concedidas e pela benção especial de ver esse trabalho concluído;

Ao Prof. Dr. Tomaz Catunda, pela oportunidade a mim concedida, e pela orientação deste trabalho;

Aos familiares, especialmente ao meu pai Luiz Roberto e meu irmão Euclesio Luís Roberto;

À Juliana C Lamas, pela inestimável ajuda, companheirismo, carinho, incentivo e apoio durante este trabalho;

À Gláucia G G Costa, pelas cobranças, ajuda e companheirismo durante este trabalho;

Aos meus amigos: Luis Borrero, Andres, Victoria, Emannoel (*in memoriam*), Lucas Sanfelitt, Talles, Luciano, Regina, Idelma, Giovanni, Elisangela e Renato A. Cruz;

Aos colegas de trabalho: Rui, Heitor, Laura e Antonio;

Às secretárias do grupo, Ester e Kamila, pela assistência e amizade;

Ao Prof. Dr. Euclydes Marega Júnior pela contribuição;

Ao pessoal da oficina mecânica e ao Carlinhos, chefe do setor, pelos serviços prestados;

Aos funcionários da biblioteca SBI – IFSC e da informática, pela cordial atenção;

Ao pessoal do serviço de pós-graduação, e ao Presidente da Comissão de Pós-Graduação, Prof. Dr. Tito José Bonagamba, pela ajuda a mim oferecida;

Ao Ítalo e sua equipe, na tarefa de impressão;

A CAPES pelo apoio financeiro;

A todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para este trabalho e, cujos nomes possam ter caído no meu esquecimento, também o meu mais profundo agradecimento.

RESUMO

ROBERTO, E. V. **Aprendizagem ativa em ótica geométrica: experimentos e demonstrações investigativas**. 2009. 141p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

Atualmente existe, praticamente, um consenso entre os pesquisadores de Ensino de Física, de que a metodologia tradicional não é a mais efetiva por não promover um real engajamento dos estudantes durante o processo de ensino/aprendizagem. Muitos pesquisadores denominam Aprendizagem Ativa (AA), os métodos que requerem tal engajamento e as pesquisas indicam que esta abordagem é mais efetiva. Ou seja, verifica-se um aumento da compreensão dos conceitos básicos de Física. Entretanto, ainda há pouca aplicação de novas metodologias em sala de aula, tanto no ensino médio quanto no superior. No nosso entender, as atividades experimentais (de laboratório ou demonstração) são as mais adequadas para a aplicação de metodologias de AA. Entretanto, particularmente no Brasil, existe pouco material didático experimental disponível que utilize essas metodologias. Este trabalho visa sanar tal necessidade no campo da Ótica Geométrica, oferecendo uma série de roteiros comentados para experimentos e demonstrações interativas. Estes roteiros usam a idéia de investigação orientada onde se pretende que os conhecimentos prévios dos alunos sejam expostos e confrontados com os conceitos científicos. Este material foi aplicado a estudantes do ensino médio (escolas públicas) e do curso de Licenciatura em Ciências Exatas do IFSC. Para a avaliação do mesmo foram realizados testes escritos e monitoramentos em sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de Física. Aprendizagem ativa. Investigação orientada. Ótica geométrica. Laboratório de Ensino de Física.

ABSTRACT

ROBERTO, E. V. **Active learning in geometrical optics: experiments and interactive demonstrations**. 2009. 141p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

There is nowadays consensus among the physics education researchers that the traditional teaching methods are not the most effective in promoting real engagement of the students in the teaching/learning process. Several researchers named Active Learning (**AL**), methods that require this engagement and research evidences indicate that this approach is the most effective, a better comprehension of the basic physics concepts is verified. However, particularly in Brazil, there are few didactic materials available using AL approaches. This work aims to fulfill this need in the field of Geometrical Optics, offering a series of tutorials (guides) for experiments and interactive demonstrations. These tutorials are based in the idea of guided investigation where the students previous beliefs are exposed and confronted with the scientific concepts. This material was applied to high school students (in public schools) and college students (science teacher preparation course of IFSC). In order to evaluate this material, written tests were performed as well as observation of classrooms.

Keywords: Physics Teaching. Active learning. Geometrical Optics. Physics Laboratory Guide.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	(a) Um circuito em série consiste de três lâmpadas idênticas conectadas a uma bateria como mostrado acima. Quando a chave S é fechada responda o que ocorre em cada item (aumenta, diminui ou permanece inalterado), i) As intensidades das lâmpadas A e B. ii) A intensidade da lâmpada C. iii) A corrente extraída da bateria. iv) A tensão em cada lâmpada. (b) Para o circuito ao lado, calcular: (i) a corrente no resistor de 2Ω (i) a diferença de potencial entre os pontos P e Q.....	27
Figura 2.2.	Ciclo interativo da pesquisa, do desenvolvimento do currículo e da instrução.....	30
Figura 2.3.	Montagem para a demonstração interativa.....	33
Figura 2.4.	Teste sobre propagação da luz. Solicita-se prever o que aparece no anteparo nas seguintes situações: (a) uma máscara com um furo triangular é colocado entre uma pequena lâmpada. (c) uma máscara com um furo triangular é colocado entre duas pequenas lâmpadas e o anteparo. (e) uma máscara com um furo triangular é colocado entre uma lâmpada extensa e o anteparo. As respostas corretas às perguntas estão representadas em b, d e f (31)	39
Figura 2.5.	Pós-teste #1: (a) Solicitou-se aos estudantes que esboçassem o que veriam no anteparo quando as lâmpadas fossem ligadas. Esta pergunta foi usada como um pós-teste para avaliar a eficácia do tutorial inicial <i>Luz e sombra</i> no curso baseado em cálculo. Esta pergunta foi usada também como um pós-teste para avaliar a eficácia da versão modificada do tutorial no curso baseado em álgebra. (b) Resposta correta (c) Exemplo de resposta quase correta dada pelos estudantes que trataram a lâmpada extensa como um discreto conjunto de fontes pontuais.....	40
Figura 2.6.	Na versão modificada do tutorial <i>Luz e sombra</i> , os estudantes são solicitados a prever o que veriam na tela quando uma máscara com um furo triangular pequeno está colocada entre uma fonte prolongada e larga (uma lâmpada incandescente geada) e o anteparo.....	40
Figura 2.7.	Pós-testes #2-#4: (a-c) foi pedido aos estudantes para esboçar o que eles veriam no anteparo quando as lâmpadas fossem ligadas. A abertura da máscara do Pós-testes #2 é a letra “F”. A abertura da máscara do Pós-testes #3 é o número “7”. A abertura da máscara do Pós-testes #4 tem a forma de um “J”. Estas perguntas foram usadas como pós-testes para avaliar a eficácia do tutorial modificado <i>Luz e sombra</i> no curso baseado em cálculo. (d-f) respostas corretas às perguntas do pós-teste.	41
Figura 3.1.	Foto do kit para as atividades experimentais.	44
Figura 3.2.	Teste sobre propagação da luz. Solicita-se que o estudante preveja o que aparece no anteparo nas seguintes situações: (a) máscara com um furo circular colocada entre uma pequena lâmpada e um anteparo. (b) máscara com um furo circular colocado entre duas pequenas lâmpadas e um anteparo. (c) máscara com um furo triangular é colocado entre uma lâmpada extensa e um anteparo. Adaptada da fig. 2.4 da secção 2.4.....	46
Figura 3.3.	O aluno é solicitado a prever o que ele veria no anteparo se utilizasse uma lâmpada fluorescente de luminária em vez da pequena lâmpada.....	49
Figura 3.4.	Histograma referente ao pré- e pós-teste aplicado ao ES.....	56
Figura 4.1.	Foto ilustrando o aparato para demonstrar a formação de imagem.	58

Figura 4.2.	Foto do aparato para demonstrar o fenômeno da refração.	58
Figura 4.3.	Foto da lousa óptica com seus elementos para atividades de demonstração.	58
Figura 4.4.	Vista de frente (<i>a</i>) e de trás (<i>b</i>) da lousa ótica.....	59
Figura 4.5.	Histograma referente ao pré- e pós-teste aplicado ao EM.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.5 –	Pré- e pós-teste respondido por 26 estudantes do ES.....	56
Tabela 4.2 –	Pré- e pós-teste respondido por 42 estudantes do EM.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Ambiente de aprendizagem ativa versus passiva	29
Quadro 2.2 – Exemplo de uma demonstração interativa para o professor sobre espelho plano.....	33
Quadro 2.3 – Resumo dos objetivos do laboratório introdutório de Física	34
Quadro 2.4 – Concepções Espontâneas em óptica geométrica	37
Quadro 2.5 – Concepções que os alunos devem desenvolver.....	38
Quadro 2.6 – Resultados do pré- e pós-teste mostrado na figura-1.....	39
Quadro 2.7 – Resultados do pré- e pós-teste (fonte extensa).....	41
Quadro 3.1 – Aplicação do material.....	45
Quadro 3.2 – Respostas dadas a aplicação do teste diagnóstico no ES.....	46
Quadro 3.3 – Respostas dadas a aplicação do teste diagnóstico a professores do EF.....	47
Quadro 3.4 – Pré- e pós-teste respondido por 26 estudantes do ES.....	52
Quadro 4.1 – Visão geral dos roteiros de demonstração.	60

LISTA DE SIGLAS

EP:	Ensino Público
CDCC:	Centro de Divulgação Científica e Cultural
PEF:	Pesquisa em Ensino de Física
EM:	Ensino Médio
AA:	Aprendizagem Ativa
PSSC:	Physical Science Study Committee
UNESCO:	United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization
FAI:	Física Auto Intuitiva
PBEF:	Projeto Brasileiro de Ensino de Física

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 O Ponto de partida.....	16
1.2 Apresentação.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Os Grandes Projetos de Ensino de Física.....	20
2.2 A Abordagem Tradicional.....	24
2.3 Novas Abordagens.....	26
2.4 O Ensino da Ótica Geométrica.....	35
3 EXPERIMENTOS DE ÓTICA.....	43
3.1 Introdução.....	43
3.2 Práticas.....	44
3.3 Aplicação.....	45
3.4 Relatórios.....	49
3.5 Entrevistas.....	51
3.6 Pré- e pós-teste.....	55
4 DEMONSTRAÇÕES DE ÓTICA.....	58
4.1 Introdução.....	58
4.2 Demonstrações	60
4.3 Aplicação.....	61
5 CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	66

APÊNDICE A – Demonstrações de Ótica Geométrica.....	70
APÊNDICE B – Práticas de Ótica Geométrica.....	98
APÊNDICE C – Orientação para o Professor sobre as práticas.....	115
APÊNDICE D – Lista de Exercícios.....	124
APÊNDICE E – Quadro de entrevistas.....	133
APÊNDICE F – Questões para o pré- e pós-teste.....	139

1 INTRODUÇÃO

1.1 PONTO DE PARTIDA

Há algum tempo o Prof. Dr. Tomaz Catunda tem se interessado por Instrumentação para Ensino de Física, particularmente Eletrônica e Ótica. Estas atividades se intensificaram a partir do final de 1996, quando ele participou da elaboração do plano de trabalho do projeto Ensino Público (**EP**) [como colaborador (1) e como coordenador (2) e de vários projetos Pró-ciências na área de Ensino de ótica para o Ensino Médio (3). A atuação paralela dos dois projetos (EP e Pró-ciências) foi muito positiva e teve grande repercussão no Estado de São Paulo com a participação de ~ 300 professores em ~ 60 municípios.

Esta dissertação está relacionada a uma experiência do grupo em mais uma década no Ensino de Ótica. Neste período foram construídos diversos “kits” (“Trilho Óptico”, “Lousa Óptica” e “Caixa de Cores”) e equipamentos que foram usados neste trabalho, bem como a publicação de diversos artigos (4-10) em revistas e encontro de Ensino de Física.

Meu primeiro contato com a metodologia baseada na Aprendizagem Ativa foi em 2004, ao cursar a disciplina de Instrumentação para o Ensino, quando conheci o material desenvolvido pelo grupo de Pesquisa em Ensino de Física (**PEF**) da Universidade de Washington, dirigido por McDermott (11). A partir deste momento percebi que, em diferentes lugares do mundo a PEF, parecia ter colocado em prática aquilo que eu havia estudado nos primeiros anos da graduação, em disciplinas pedagógicas. Ou seja, materiais que levam os estudantes a construir seus conhecimentos através de uma sequência de aprendizagem que inclui previsões, discussões em grupos, observações e comparações de resultados observados com as previsões.

Com o convite para realizar o curso de mestrado, feito pelo professor Tomaz Catunda, acreditei poder também desenvolver materiais investigativos que pudessem ser aplicados nos cursos de Física básica na Universidade, bem como no Ensino Médio. Assim iniciamos nosso trabalho no desenvolvimento de novos materiais, que contemplassem a Aprendizagem Ativa.

Em 2006 comecei a elaborar e aplicar pré-testes e os primeiros roteiros investigativos. Desta primeira experiência surgiram algumas dificuldades para se construir um currículo baseado em investigação orientada e laboratório, pois, a linguagem, as figuras, os questionamentos e os experimentos, tudo precisava estar perfeitamente concatenado. Assim, produzir os roteiros, testar os experimentos, verificar sua compatibilidade passou a ser um novo desafio. Comecei a “recrutar” voluntários para realizarem as atividades que eu desenvolvia e então pude acompanhar as dificuldades que emergiram e desta forma melhorar o material. Nesta etapa, novas idéias de experimentos e novos questionamentos surgiram e aos poucos os roteiros e experimentos foram sendo elaborados e aperfeiçoados.

A Pesquisa em Ensino de Física (**PEF**) no Brasil já é uma área de pesquisa consolidada, com muitos congressos regulares, publicação de revistas, teses, dissertações etc. Entretanto, tem sido debatida a questão colocada por Pena em uma Carta ao Editor da Revista Brasileira de Ensino de Física (12): “Por que, apesar do grande avanço da pesquisa acadêmica sobre ensino de Física no Brasil, ainda há pouca aplicação dos resultados em sala de aula?” Este tema é particularmente atual, tendo em vista que no ano passado (2008) a Secretaria de Educação do Estado de São Paulo implantou uma série de Cadernos do Professor, nas diversas disciplinas, com o intuito de orientar o professor na utilização de propostas inovadoras.

Após analisar vários autores, Pena concluiu que:

Por um lado, fica claro que a pesquisa em ensino de Física avançou bastante na identificação de muitos dos problemas que assolam o ensino de Física e na apresentação de propostas de intervenção e subsídios para ação pedagógica do professor em sala de aula com vista à formulação de tentativas de superação desses problemas. Por outro lado, pouco avançou na questão da aplicação dos resultados de pesquisa em sala de aula.

Pena conclui a carta comentando “faz-se necessário identificar os resultados de pesquisa em ensino de Física que vêm sendo aplicados em sala de aula, bem como investigar o que favorece e o que dificulta a aplicação de tais resultados”. Em nossa opinião, apesar de haver muito material acadêmico (mais voltado a pesquisadores) ainda existe poucos materiais didáticos em português, com abordagens inovadoras, diretamente voltadas ao professor de Física, tanto do ensino médio quanto do superior. Este trabalho visa preencher esta lacuna na parte de Ótica Geométrica.

1.2 APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é apresentada em cinco capítulos que estão organizados da seguinte forma:

No capítulo 1 relato como iniciei meu trabalho de mestrado e o que consta em cada capítulo.

No capítulo 2 mostro, de forma sucinta, uma evolução histórica do ensino experimental de Física, iniciada por volta do final da década de 50 com o surgimento dos grandes projetos de ensino de ciências. Após este levantamento descrevo as características da abordagem tradicional, das novas abordagens e do ensino da Ótica Geométrica. Além de uma descrição de experimentações e de demonstrações investigativas sobre óptica geométrica.

No capítulo 3 apresento os roteiros de experimentação, a aplicação do material num projeto Piloto e em sala de aula, bem como resultados importantes da análise de relatórios, do monitoramento das atividades, das entrevistas e de pré- e pós-testes.

No capítulo 4 apresento o conteúdo dos roteiros de demonstração, a aplicação do material em sala de aula e resultados importantes do monitoramento das atividades e de pré- e pós-testes.

No capítulo 5 exponho as considerações referentes aos resultados abordados nos dois últimos capítulos, a validade da proposta metodológica (Aprendizagem Ativa) e conclusões da minha pesquisa, bem como uma perspectiva para futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 OS GRANDES PROJETOS DE FÍSICA

Durante a Guerra Fria, especialmente no final da década de 50 o cenário científico passava por grandes mudanças, devido ao lançamento do Sputnik, que foi o primeiro satélite artificial a ser colocado em órbita, pela União Soviética. Com este acontecimento, os Estados Unidos passaram a uma posição secundária, e preocupados em retomar a dianteira na Guerra Fria os norte-americanos procuraram solucionar o atraso científico e tecnológico, investindo no ensino de base e, assim, o ensino fundamental e o ensino médio passaram por uma acentuada mudança (13).

Motivados pelo desafio do Sputnik, os físicos e outros cientistas iniciaram projetos para desenvolver novos materiais instrucionais para as escolas de ensino fundamental e médio, iniciando um movimento de renovação no ensino de ciência experimental, que foi caracterizado pela “era dos grandes projetos”.

McDermott (11) afirma que todos os projetos tinham em comum o reconhecimento não apenas da importância do conteúdo, mas também do método de ensino e que o objetivo dos pesquisadores não era escrever novas versões de textos nos quais os alunos poderiam aprender fatos e verificar experimentalmente conteúdos previamente conhecidos, mas sim produzir currículos inovadores, investigativos e centrados em atividades, de tal modo que os alunos participassem ativamente na empreitada científica.

O **PSSC** (*Physical Science Study Committee*), iniciado em 1956, nos Estados Unidos foi o precursor e o maior representante deste movimento inovador do ensino de ciências e se alastrou por mais de cinquenta países, tornando-se um dos mais reconhecidos do mundo. Sua proposta metodológica modificou a percepção do ensino de Física existente até aquela época.

O texto base deste projeto apresenta uma nova sequência de conteúdos, questões abertas que estimulavam discussões entre alunos e professores. A grande inovação desta metodologia de ensino foi a utilização de um grande número de filmes didáticos. Uma abordagem de destaque também foi dada ao laboratório, que passou a ser parte integrante deste projeto (14).

O PSSC contava com um acervo de cinquenta experimentos (qualitativos e quantitativos) acompanhados por “guias de laboratório”, que tinham por objetivo estimular a participação dos alunos, por meio da manipulação de tais atividades experimentais. As atividades de laboratório propostas distinguiam das demonstrações tradicionais, que geralmente eram realizadas apenas pelo professor.

Ao mesmo tempo em que o PSSC centrava-se em uma nova proposta curricular de Física, também considerava que o aluno só poderia aprender ciência por si, a partir da manipulação de experimentos, como relatado no próprio prefácio do livro texto do guia de laboratório: “Ao realizar experiências cujo resultado, de antemão, lhe é desconhecido, fica o aluno tomado por uma sensação de participação pessoal nas descobertas científicas; tornam-se-lhe mais significativas a ciência e a importância do cientista” (15).

Uma parceria entre as universidades de Harvard, Cambridge e Massachusetts deu origem, em 1964, ao que ficou conhecido como Projeto Harvard (*Harvard Project Physics*), que visava integrar a Física, como ciência, ao contexto histórico e social.

Neste projeto, a valorização do laboratório didático fica clara ao referir-se ao aluno para se preparar para um “[...] trabalho crítico e curioso, e também para algumas surpresas. Uma das melhores maneiras de aprender Física é fazer física, seja no laboratório ou fora dele. Não se deixe ficar pela simples leitura [...]” (16). O conjunto de práticas experimentais realizadas pelos alunos e as demonstrações realizadas pelo professor tinham o objetivo de motivar a introdução de um novo tópico ou auxiliar os alunos na compreensão de conceitos durante uma aula teórica.

Projeto Nuffield (1962), na Inglaterra, foi desenvolvido com objetivos similares ao PSSC e ao Harvard, visando à melhoria no ensino nas áreas da Física, Química e Biologia. O material de Física contemplava atividades de discussão e laboratório.

As questões para debater eram baseadas em problemas com diferentes graus de complexidade e exercia a função de introduzir um novo assunto e gerar discussões sobre o tópico em estudo.

Nas atividades de laboratório os alunos utilizavam “ktis”. O objetivo era motivá-los a comportarem-se como cientistas. As demonstrações eram realizadas pelos professores, já que elas eram compostas de materiais mais sofisticados (17).

A era dos grandes projetos teve reflexos no Brasil, além da tradução do PSSC, a UNESCO, desenvolveu em São Paulo (1963) um plano de trabalho denominado “Projeto Piloto”, que foi utilizado para o ensino de Física cujo tema proposto era “Física da Luz”.

Apenas para situar, dentre os projetos nacionais, que possuem a presença do laboratório didático, nascidos da inspiração desta época, podemos citar o “PEF – Projeto de Ensino de Física”, “FAI – Física Auto Intuitiva” e o “PBEF – Projeto Brasileiro de Ensino de Física”. A justificativa dada para o uso do laboratório era a mesma que aquelas existentes no PSSC.

O Projeto de Ensino de Física (1970) apresentava o conceito que o laboratório didático era motivador do aprendizado e auxiliava o ensino de Física. Seus experimentos eram realizados pelos alunos e tinha caráter obrigatório, as atividades experimentais eram sequenciais ao livro texto, sendo praticamente impossível segui-lo sem realizar os experimentos propostos. Neste projeto o texto era dividido em duas partes uma individual e outra para trabalhar em grupo, durante as discussões e atividades experimentais.

Em síntese, todos estes projetos estavam centrados em uma nova proposta curricular de ensino de Física baseado principalmente nas atividades de laboratório. Neste sentido os

projetos mudaram o foco do papel do laboratório didático, substituindo as demonstrações realizadas pelo professor, em que os alunos eram tidos como meros espectadores, para uma proposta metodológica em que a utilização de equipamentos e a realização dos experimentos eram feitas pelos alunos (17).

Gaspar (13) acredita que tanto nos projetos estrangeiros como nos nacionais, as atividades de laboratório eram responsabilidade dos estudantes, que investigavam sem a participação ativa do professor. O professor tinha uma ação restrita a orientação, dando apenas algumas dicas e o aluno tinha que aprender sozinho. Afirma ainda que o insucesso dos principais projetos deve-se “a superestimação da capacidade do material instrucional na promoção da aprendizagem ancorada basicamente na experimentação”. E que apesar do guia para o professor ter sido cuidadosamente elaborado, a participação do professor, podia ser dispensada, e os alunos poderiam trabalhar sozinhos, podendo recorrer ao texto do projeto.

Segundo Moreira (18), a curta duração dos projetos, tanto dos nacionais como dos internacionais, provavelmente se deve à ausência de uma concepção de aprendizagem, pois apesar destes projetos deixarem claro como se deveria ensinar a Física (experimentos, demonstrações, projetos, filmes, história da Física etc), mas nada foi explicitado sobre como seria o aprendizado desta nova Física.

Alves Filho afirma ainda que esta “era” foi revolucionária frente ao que já se havia feito em relação a propostas educacionais em ensino de ciências e que hoje o resultado desse movimento reflete numa “área de pesquisa madura, com vários cursos de pós-graduação e com um número crescente de investigadores”. Acrescenta, ainda, que na proposta pedagógica destes projetos, “o laboratório didático está presente e contextualizado” e que “esta contextualização parece ter, pela primeira vez, alguma justificativa para o seu uso dentro do espaço didático” (17).

2.2 ABORDAGEM TRADICIONAL

Como abordado no item 2.1, o período da Guerra Fria favoreceu uma revisão dos métodos e estratégias de ensino, que culminou no aparecimento de novas metodologias para o Ensino de Física. Todavia a abordagem tradicional ainda é a mais utilizada para o ensino de ciências o que torna seu conhecimento crucial.

Muitos professores de Física são bem intencionados e estão preocupados em transpor para a sala de aula o conhecimento construído pela Física, bem como seus entusiasmos aos alunos. Tendo compreendido um determinado problema após gastarem muito tempo e esforço intelectual, os professores procuram compartilhar este conhecimento com seus alunos de uma maneira menos árdua, ensinando a física de “cima para baixo”, do geral para o particular (11, p304). Com o objetivo de que os alunos tenham uma melhor compreensão dos conceitos físicos, as generalizações são totalmente formuladas e os professores realizam demonstrações de como aplicá-las a exemplos específicos. Deste modo, pouco raciocínio indutivo (do particular para o geral) é envolvido e a linha de pensamento é quase sempre dedutiva. Conseqüentemente, o estudante não é engajado ativamente no processo de abstração e generalização. Desta maneira, os professores tradicionais acreditam que os alunos aprendem princípios e leis e adquirem a capacidade de aplicá-los em situações similares.

As pesquisas em Ensino de Física têm demonstrado que o ensino tradicional não é a maneira na qual a maioria dos estudantes aprendem melhor. Embora as aulas expositivas possam motivar e inspirar alguns alunos, a aprendizagem significativa não é um resultado direto da abordagem tradicional. O problema é que o professor não pode pensar pelos alunos. Alguns estudantes, muito motivados em aprender Física, assistem às aulas expositivas com uma postura crítica, tentando entender os conceitos e aplicá-los na resolução dos problemas.

Entretanto, a grande maioria dos estudantes precisa de mais ajuda para ter um aprendizado de melhor qualidade.

Quando a Física é ensinada deste modo, a ênfase volta-se ao aprendizado de algoritmos para a resolução de problemas. A maioria dos alunos acaba priorizando a memorização de fórmulas sem conectá-las aos conceitos físicos. O problema da abordagem tradicional é que ela ignora o fato de que a percepção dos estudantes pode ser muito diferente daquela do professor (11, p304).

Na abordagem tradicional as atividades experimentais (sejam demonstrações ou experimentos) são normalmente direcionadas para tomada de dados, com o objetivo de ilustrar ou confirmar os conteúdos já abordados nas aulas expositivas. Os estudantes devem saber de antemão a teoria como condição para realizarem as atividades práticas.

Soares (19) afirma que no laboratório tradicional, os fenômenos ficam reduzidos a um conjunto de números, com pouca ou nenhuma representação. Acrescenta ainda que *“Para um físico treinado, o qual viveu o fenômeno durante meses, estes números são excelentes representações do próprio fenômeno”*, ao contrário do que acontece para um aluno iniciante.

O livro *“Laboratory Experiments in College Physics”* (20) ilustra bem as características da abordagem tradicional no laboratório de ensino. Segundo estes autores, os objetivos específicos do laboratório são:

- (a) para obter treino no método científico de observar e registrar dados;
- (b) para adquirir técnicas na manipulação e ajuste do equipamento;
- (c) para ganho na compreensão das limitações e poder da experimentação;
- (d) obter experiência no uso de representação gráfica;
- (e) para coletar dados e desenvolver habilidade para computar respostas de confiança ou para determinar relações válidas.

Cada experimento é introduzido com uma parte teórica, a descrição do equipamento, o procedimento experimental, bem como tabelas para colocar os dados e o resultado dos cálculos e uma lista de questões referente à atividade desenvolvida.

Os roteiros do “*Physics Laboratory Manual*” (21) são semelhantes ao descrito anteriormente, cujo diferencial é o acréscimo de questões de pré-laboratório, que os estudantes devem responder em acordo com a teoria do manual.

No Brasil, “Física Experimental II” é um exemplo de livro que conta de atividades experimentais que contempla a abordagem tradicional (22).

Os roteiros de laboratório de Física Geral no Brasil (incluindo o IFSC, UNICAMP, IFUSP e outros) geralmente têm uma abordagem tipicamente tradicional.

2.3 NOVAS METODOLOGIAS

As Pesquisas em Ensino de Física (PEF) vem passando por transformações desde o final da década de 50 com o desenvolvimento dos grandes projetos. Muitos pesquisadores têm demonstrado que a grande maioria dos estudantes têm grande dificuldade de aprender os conceitos fundamentais da Física (23-27). Estas pesquisas demonstram que a habilidade em solução de problemas quantitativos convencionais (ferramenta principal de avaliação na abordagem tradicional) não necessariamente implica em domínio conceitual. Por exemplo, Mazur (23, p5) comparou o desempenho dos estudantes da Universidade de Harvard em duas questões de circuitos elétricos (Figura 2.1). A primeira questão (*a*) pode ser resolvida muito rapidamente, sem a necessidade de cálculos. A segunda (*b*) é uma questão tradicional muito mais trabalhosa que necessita da resolução de um sistema de duas equações.

Figura 2.1. (a) Um circuito em série consiste de três lâmpadas idênticas conectadas a uma bateria como mostrado acima. Quando a chave S é fechada responda o que ocorre em cada item (aumenta, diminui ou permanece inalterado), i) As intensidades das lâmpadas A e B. ii) A intensidade da lâmpada C. iii) A corrente extraída da bateria. iv) A tensão em cada lâmpada.

(b) Para o circuito ao lado, calcular:
(i) a corrente no resistor de 2Ω
(i) a diferença de potencial entre os pontos P e Q (23).

Mazur (23, p5) observou que a maioria dos estudantes obtém melhor desempenho na questão (b) do que na (a), sendo que as notas médias (entre 0 e 10) foram 6.9 e 4.9, respectivamente. Observou-se ainda que 40% dos estudantes acreditam que fechando a chave (S), a corrente através da bateria do circuito (a) não se altera. Apesar desta séria concepção errônea, muitos estudantes resolveram corretamente a questão (b). Segundo Mazur (23), isto ocorre porque os alunos memorizam algoritmos de resolução de problemas. A maioria dos alunos acaba priorizando a memorização de fórmulas sem conectá-las aos conceitos físicos.

A partir da década de 70 e 80 surgem pesquisas sobre estrutura cognitiva preocupadas em saber como os estudantes aprendem e o que interfere neste aprendizado. Resultados destas pesquisas mostram a necessidade de focalizar maior atenção no estudante. Acredita-se que para os estudantes adquirirem conhecimento científico eles precisam construir seus próprios conceitos. Além disso, ignorar seus conhecimentos prévios é uma das principais causas da ineficácia do processo. O estudante não deve ser visto como um receptor passivo do conhecimento, mas sim como um participante ativo em sua criação. A aprendizagem significativa, que envolve a habilidade de interpretar e usar o conhecimento nas situações não idênticas àquelas em que foi inicialmente adquirida, requer o profundo empenho mental do estudante. A mente do aluno não é uma lousa em branco na qual uma nova informação pode ser escrita sem considerar o que já existe. Assim o professor deve fazer um esforço consciente

para orientar o estudante a fazer as modificações necessárias no sentido de incorporar corretamente a nova informação (11).

Em contraposição aos métodos tradicionais, alguns autores denominam Aprendizagem Ativa (AA) os métodos que requerem real engajamento dos alunos durante o processo de ensino/aprendizagem. As pesquisas indicam que tal abordagem tem demonstrado um aumento da compreensão dos estudantes dos conceitos básicos de Física (11, 24). Nesta nova estratégia, os estudantes são levados a construir seu conhecimento dos conceitos de Física por observação direta do mundo físico. Isto é feito por meio de uma sequência de aprendizagem (previsões, discussões em pequenos grupos, observações e comparações de resultados observados com as previsões). Deste modo, os estudantes tornam-se atentos às diferenças entre suas crenças que eles trazem para a sala de aula, e as leis físicas. O objetivo desta abordagem é reproduzir o processo científico na sala de aula e ajudar o desenvolvimento de habilidades de raciocínio físico.

Sokoloff, em um manual da UNESCO, (25) faz uma comparação entre as características dos ambientes de aprendizagem ativa e da tradicional (passiva), disposta no Quadro 2.1.

Segundo ele, é de importância crítica a mudança no papel do professor quando os materiais de Aprendizagem Ativa são introduzidos em sala de aula. Tanto no mundo desenvolvido quanto nos países em desenvolvimento, pode ser desafiante para o professor recuar de seu papel tradicional de explicar tudo como uma autoridade, para um papel de orientar através de materiais de aprendizagem ativa. Para que esta transição tenha sucesso, é necessário aceitar a evidência de que os estudantes freqüentemente não aprendem efetivamente até mesmo com as mais lógicas explicações dadas por seus professores. Afirma ainda que a facilidade desta transição não dependa somente da boa vontade do professor de

desistir de seu papel de autoridade, mas também de diversos fatores culturais que diferem de país para país (25).

Quadro 2.1 – Ambiente de aprendizagem ativa versus passiva

Ambiente de Aprendizagem Passiva	Ambiente de Aprendizagem Ativa
Instrutor (e livro texto) é a autoridade fonte de todo o conhecimento.	Os estudantes constroem seus conhecimentos de observações mão na massa. As observações reais do mundo físico são as autoridades.
As crenças dos estudantes são raramente abertamente provocadas.	Usa um ciclo de aprendizagem no qual os estudantes são provocados a comparar predições (baseadas em suas crenças) com observações dos experimentos reais.
Os estudantes nunca podem reconhecer diferenças entre suas crenças e o que lhes é falado na sala.	As crenças dos estudantes mudam quando eles são confrontados pelas diferenças entre suas observações e suas crenças.
O papel do instrutor é de autoridade	O papel do instrutor é como um guia no processo de aprendizagem.
A colaboração com seus pares é freqüentemente desencorajada.	Colaboração com os pares é encorajada.
As aulas expositivas frequentemente apresentam “fatos” de física com pouca referência ao experimento.	Os resultados dos experimentos reais são observados de modo compreensível.
Trabalho de laboratório, se algum, é usado para confirmar teorias “aprendidas” nas aulas expositivas.	Trabalho de laboratório é usado para aprender conceitos básicos.

Comparação entre aprendizagem passiva e ativa retirada de (25).

Materiais de Aprendizagem Ativa incluem livros, tutoriais, manuais de treinamento, equipamentos de laboratório mão na massa, equipamentos de demonstração interativa e alguns equipamentos de alta tecnologia, especialmente ferramentas baseadas em computadores e modelagem com “softwares”.

Usando técnicas de Aprendizagem Ativa tem sido possível realizar mudanças significativas no ambiente de aprendizagem de laboratório em um grande número de

universidades, faculdades e escolas secundárias no mundo desenvolvido, sem a necessidade de mudar a estrutura de aulas expositivas/laboratório e a natureza tradicional de instrução de aulas expositivas (26).

O grupo da Universidade de Washington tem tido um papel de destaque na PEF e desenvolvimento de novas metodologias. Segundo Heron (27), o trabalho do grupo pode ser dividido em três etapas, veja Figura 2.2.

(a) pesquisa: investigações sistemáticas de como os estudantes pensam a Física (em seus diferentes tópicos) antes, durante e após o ensino;

(b) utilização dos resultados desta pesquisa para guiar o desenvolvimento do material didático;

(c) teste em sala de aula e revisão dos materiais educacionais.

O grupo tem procurado trabalhar os três itens (a-c) num processo contínuo, interativo. Além disso, para demonstrar como a pesquisa pode contribuir para o desenvolvimento do currículo

Figura 2.2. Ciclo interativo da pesquisa, do desenvolvimento do currículo e da instrução (27).

são empregados os seguintes princípios:

(1) Conceitos, habilidades de raciocínio, e as habilidades de representação devem ser desenvolvidos conjuntamente num corpo de conteúdo coerente;

(2) A Física deve ser ensinada como um processo de investigação, não como um corpo inerte de informações;

(3) A habilidade de fazer conexões entre o formalismo da Física e os fenômenos do mundo real precisa ser expressamente desenvolvida;

(4) Certas dificuldades comuns que os estudantes encontram na Física necessitam ser explicitamente dirigidas.

Estas estratégias tendem a encorajar os estudantes a pensarem sobre conteúdos que eles poderiam não refletir sem a intervenção ativa do material e do professor.

Desta maneira, *Physics by Inquiry* volume-1(28) e volume-2 (29) são resultados de mais de 25 anos de pesquisa. Estes livros são compostos por um conjunto de atividades de laboratório que introduz a física e ciências físicas de uma maneira passo a passo, desenvolvidas para cursos nos quais a aprendizagem é feita por meio da descoberta e de questionamentos. Partindo de suas próprias observações os estudantes desenvolvem conceitos básicos de física, usam e interpretam diferentes formas de representações científicas e constroem modelos explicativos com capacidade de previsão de situações análogas, mas não iguais. Os textos dos livros não narram nem oferecem explicações de conceitos físicos, mas propõe questões que motivam os estudantes a pensarem criticamente sobre as atividades propostas. Para a realização dos experimentos, os roteiros sugerem que os alunos descrevam e/ou desenhem previsões de fenômenos que eles observarão. Após a realização dos experimentos os alunos fazem as anotações do observado, corrigindo eventuais discrepâncias em relação às suas previsões. Sugere-se ainda que as atividades sejam realizadas em pequenos grupos e que os alunos discutam as suas descobertas com os membros de seu grupo para que depois ocorram as discussões em grupos maiores.

Tutorials in Introductory Physics (30) foi desenvolvido para complementar aulas expositivas tradicionais de Física Geral (nível universitário). Seguindo a mesma filosofia do *Physics by Inquiry*, visa o desenvolvimento a argumentação necessária para construir conceitos e aplicá-los em situações do mundo real. Os Tutoriais contêm atividades experimentais como exercícios não convencionais. Eles podem ser utilizados tanto após a introdução dos conceitos encontrados nos livros texto como para introduzir um novo tema.

Active Learning in Optics and Photonics (ALOP) (25) é um manual que faz parte do material desenvolvido pela UNESCO com o objetivo de treinar professores em AA. Nós

tivemos a oportunidade de participar de um “workshop” de 40 horas sobre Ótica e Fotônica que abordou ótica geométrica e física, assim como aplicações em comunicações óticas.

The Physics Suite é uma coleção de livros de AA, dentre eles podemos destacar Interactive Lecture Demonstration: Active Learning in Introductory Physics, (31) voltado para demonstrações interativas.

Powerful Ideas in Physical Science (PIPS) (32), desenvolvido pela American Association of Physics Teachers, contém módulos de atividades demonstrativas e de laboratórios de Física para o ensino médio. Um de seus objetivos é o de aproximar a pesquisa e as práticas de ensino. Assim, seus módulos foram desenvolvidos para que os estudantes desenvolvam conceitos durante as atividades e aplique-os em novas situações. As atividades propostas assim como os questionamentos apresentam experiências que podem ser desequilibrantes para os estudantes e os motivam a reexaminar e reavaliar suas noções previamente expressas à luz de novas evidências, possibilitando que encontrem novas idéias e informações para a construção de modelos mentais que conduzem a uma melhoria do entendimento conceitual dos fenômenos das ciências físicas. Os estudantes são encorajados a verbalizar não somente o que eles sabem, mas essencialmente justificar, descrever “como eles sabem”. Sua metodologia consta de cinco fases instrucionais: Extração e elaboração das idéias dos estudantes; Teste e comparação das idéias com a Natureza; Resolução de possíveis discrepâncias entre as idéias, construindo novas idéias ou as modificando, avaliando e comparando as idéias novas ou modificadas; Aplicando as Idéias; Revendo e Resumindo as Idéias.

Além de uma introdução teórica que explica sua estratégia pedagógica o PIPS tem uma série de roteiros para atividades de demonstração e experimentação. O Quadro 2.2 ilustra o roteiro para o professor de uma demonstração sobre espelho plano.

Quadro 2.2 – Exemplo de uma demonstração interativa para o professor sobre espelho plano.

“Você sempre vê as reflexões em espelhos?”

Equipamento: Um espelho de aproximadamente 30cm x 30cm com suporte para montá-lo na vertical sobre uma mesa, um pedaço de tecido para cobrir o espelho, uma lâmpada de filamento de cor branca (não transparente) e um soquete veja Figura 2.3. Coloque o espelho sobre uma mesa, de forma que ele fique voltado para a classe e, então pergunte:

1. **QUAL É A SUA IDÉIA? A luz reflete no espelho? Qual é a evidência de que isto acontece?**
2. **QUAL É IDÉIA DO SEU GRUPO? Escreva abaixo as idéias que o grupo elaborou que sejam diferentes das suas.**

A maioria dos estudantes está ciente de que o espelho reflete a luz, mas o importante é levantar e considerar quais as evidências que eles conhecem que sustentam este fato. Alguns estudantes poderão mencionar que eles podem se ofuscar através da luz que reflete no espelho. Eles também podem desenhar um esquema mostrando como imaginam que a luz se comporta quando é refletida pelo espelho. Até este momento nenhuma argumentação deve ser feita sobre o comportamento da luz; os estudantes devem ter oportunidade de expressar suas idéias.

O propósito destas questões é motivar o surgimento de idéias sobre a reflexão da luz que será desenvolvida numa outra atividade. Monte o espelho plano sobre uma mesa e cubra-o conforme a Figura abaixo.

Figura 2.3. Montagem para a demonstração interativa (32)

Peça a três estudantes voluntários que se posicionem à frente do espelho como mostra a figura acima. Utilizando algum tipo de fita adesiva cada estudante deve marcar sua posição. Posicione a lâmpada um pouco à direita do espelho como mostra a figura e ligue-a.

Pergunte a classe:

3. **QUAL É A SUA IDÉIA? Seu professor tem uma montagem. Após o espelho ser descoberto, qual dos estudantes poderá ver a reflexão da lâmpada através do espelho? Faça um desenho que represente sua idéia.**
4. **QUAL É IDÉIA DO SEU GRUPO? Escreva abaixo as idéias que o grupo elaborou e que são diferentes da sua.**

Peça aos três estudantes que se sentem num único grupo e discutam suas idéias. Alguns estudantes poderão dizer que o estudante 1 será capaz de ver a reflexão da lâmpada no espelho, pois está no mesmo alinhamento em relação ao espelho. Muitos estudantes poderão pensar que ambos os estudante 2 e 3 serão capazes de ver a reflexão, pois tem a idéia de que a luz reflete para ângulos iguais.

Após ter dado a oportunidade para todos representarem suas idéias, chame novamente o três estudantes a ocuparem as suas posições demarcadas e então descubra o espelho.

5. **FAZENDO OBSERVAÇÕES: Qual dos estudantes será capaz de ver a reflexão da lâmpada? O observado está de acordo com as idéias previstas?**

Através da observação fica comprovado que o estudante 1 não é capaz de ver a reflexão da lâmpada, o que não ocorre com os estudantes 2 e 3, que observam a reflexão.

Pergunte aos estudantes sobre o comportamento da luz e dos espelhos. Encaminhando uma discussão tente levantar pelo menos dois pontos importantes: (1) para o estudante ver a reflexão da lâmpada no espelho, a luz deve penetrar em seu olho após refletir no espelho; (2) a luz não pode ser vista após a reflexão no espelho, em qualquer direção, mas somente numa específica.

Nota-se que os comentários abordam aspectos práticos e didáticos, incluindo comentários sobre dados da PEF específicos do tema. O roteiro dos alunos contém apenas as perguntas que estão em negrito, quase sempre com as perguntas “qual a sua idéia...?” e “qual a idéia do seu grupo...”.

Em 1997 a American Association of Physics Teachers (AAPT) (33) elaborou um documento (Quadro 2.3) para auxiliar os professores na tarefa de planejar seus cursos introdutórios de Laboratório de Física. Destacando os principais objetivos do laboratório.

Quadro 2.3 – Resumo dos objetivos do laboratório introdutório de Física

I. A arte da experimentação: O laboratório introdutório deve engajar todo estudante em experiências significativas com processos experimentais, incluindo alguma experiência em projetar experimentos.

II. Habilidades experimentais e de análise: O laboratório deve ajudar o estudante a desenvolver uma série de habilidades básicas e ferramentas da experimentação e análise de dados.

III. Aprendizagem conceitual: O laboratório deve ajudar o estudante a dominar os conceitos básicos da Física.

IV. Compreensão do conhecimento básico da Física: O laboratório deve ajudar o estudante a compreender o papel da observação direta em Física e distinguir a diferença entre as inferências baseados na teoria e os resultados experimentais.

V. Desenvolver Habilidades de aprendizagem Colaborativa: O laboratório deve ajudar o estudante a desenvolver as habilidades de aprendizagem colaborativa que serão vitais a toda sua vida profissional.

Contribuições de publicação nacional em Ensino de Física por investigação que encontramos são os livros de Carvalho (34 e 35) escrito para o EM com o objetivo de que os estudantes participem na construção do seu conhecimento. Porém, este material não é um manual de atividades, e sim uma orientação de sugestões para se trabalhar conceitos de Física relacionando-os com o dia a dia. Pode-se destacar também que a PEF vem sendo divulgada por pesquisadores brasileiros e de demais países da América Latina na Revista Brasileira de

Ensino de Física, preocupados com aspectos culturais, instrucionais e históricos da Física, relevantes ao seu ensino, procurando unir a pesquisa acadêmica com a prática docente (36). Pena (12) acrescenta que há pouca aplicação dos resultados da PEF em sala de aula, acreditando que professores de Física ainda são adeptos aos métodos tradicionais de ensino e aprendizagem

2.4 O ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

A revisão da bibliografia existente sobre as representações pessoais que os alunos possuem antes do ensino formal, mostram um grande distanciamento entre as concepções que os alunos apresentam e as teorias e modelos científicos. Na Ótica Geométrica, em geral, os conceitos abordados, obedecem a uma sequência, onde reflexão, refração, lentes e espelhos não aparecem ligados a um mesmo fenômeno físico. Por exemplo, ao se estudar a refração, a luz refletida não é mencionada, como ocorre no mundo real. Na maioria das vezes é apresentado um conjunto de princípios, leis e regras, sem uma discussão profunda sobre a natureza da luz e sobre o processo da visão (37).

Com a preocupação de organizar um material baseado na Aprendizagem Ativa para ensinar óptica geométrica, em que as concepções espontâneas dos estudantes fossem ponto de partida, procuramos dentre outros parâmetros conhecer estas crenças. Gircoreano (38) em seus estudos sobre luz e visão afirma que alunos acreditam na existência de raios visuais, que são raios emitidos pelos olhos e vão em direção do objeto permitindo a sua visualização.

Goldberg (39) aponta que os alunos em frente de um espelho plano, consideram ver mais deles mesmos afastando-se do espelho. Mostrando a concepção alternativa de que o fator determinante do tamanho da imagem é a distância do observador ao espelho, mas não o tamanho do espelho. Muitos alunos consideram que apenas podem ver a imagem num espelho

plano se ela estiver alinhada com a linha de visão que vai do objeto ao olho do observador. Portanto estes não reconhecem que a posição da imagem depende somente da posição do objeto, com relação ao espelho e é independente da posição do observador.

Outra crença entre alguns alunos é de que a imagem de um objeto em um espelho plano está localizada na superfície do espelho (39). Esta concepção também foi verificada por Gircoreano (38). Alunos consideram que para verem a imagem os raios visuais devem ir até a superfície do espelho, onde a imagem reside.

Estudos levantados por Harres (40) mostram crenças de que a luz não se propaga e que mesmo quando a propagação da luz é reconhecida por um grupo de alunos, eles acreditam que o alcance de uma fonte de luz depende de sua intensidade luminosa, ou que a sua propagação pode não se dar somente de modo retilíneo.

Ao estudar o desenvolvimento das concepções sobre visão entre estudantes do segundo ano de um curso de magistério, Barros (41) afirma que as concepções alternativas são obstáculos na construção do vínculo correto entre luz e visão numa situação de ensino. Ele destaca ainda a importância de iniciar ótica geométrica pelo conceito de visão, para que os estudantes tomem consciência do papel crucial desempenhado pelo olho do observador na explicação dos fenômenos luminosos.

O livro *Powerful Ideas in Physical Science* (32) contém um resumo das principais concepções alternativas sobre Ótica Geométrica (Quadro 2.4), bem como àquelas que os alunos devem desenvolver (Quadro 2.5).

Quadro 2.4 – Concepções Espontâneas em ótica geométrica.

1. Luz está apenas associada a uma fonte e seus efeitos. A luz não é considerada como existente independentemente no espaço, e por isso não é considerada como algo que se propaga.
2. Um objeto é visto porque é iluminado. A luz é uma condição necessária a visão, mas não se reconhece nada que se propague entre o objeto e o olho.
3. O "brilho" da lâmpada é representado por linhas saindo da lâmpada.
4. A luz se propaga apenas em uma direção a partir de um determinado ponto de uma fonte de luz.
5. Fontes com uma determinada forma formam imagens com esta mesma forma, mesmo sem lentes ou espelhos.
6. Quando a luz passa através de um pequeno orifício para uma tela, apenas uma pequena mancha luminoso (da forma do orifício) será observada na tela.
7. Para um observador ver a imagem de um objeto em um espelho, ou o objeto está diretamente em frente do espelho, ou o objeto está na linha de visão do observador ao espelho. a posição do observador não é importante para determinar se a imagem será vista.
8. Um observador verá mais sua imagem se afastando do espelho
9. A imagem de um objeto por um espelho está na superfície do espelho. A imagem é geralmente pensada como uma fotografia em uma superfície plana.
10. O espelho funciona da seguinte maneira: primeiro a imagem vai do objeto a superfície do espelho. Depois o observador vê a imagem na superfície do espelho ou a imagem refletida pelo espelho e vai ao olho do observador. Em outras palavras, a própria imagem viaja pelo espaço.
11. A luz é refletida por superfícies polidas (como um espelho) mas não por superfícies não polidas.
12. A luz passa em linha reta através de um material transparente sem mudar sua direção.
13. Quando um objeto é visto através de um material sólido ou líquido transparente, o objeto é visto exatamente onde ele está localizado.
14. Normalmente os estudantes entendem a formação de imagens da seguinte forma: a "imagem potencial" (que seria uma pré-imagem) carrega informação sobre o objeto, deixa o objeto e viaja pelo espaço até a lente. Quando passa pela lente esta "imagem potencial" é virada de cabeça para baixo e seu tamanho pode mudar.
15. Quando esboçamos diagramas de raios para demonstrar a formação de imagens, apenas os raios desenhados deixam o objeto em linhas retas e paralelas.
16. Caso parte da superfície da lente é bloqueada, a parte correspondente será bloqueada na imagem.
17. A função da tela (anteparo) é capturar a imagem para que ela fique visível. A tela é uma condição necessária a formação de imagens. Sem a tela não há imagem.
18. A imagem é visível numa tela independentemente da posição da tela em relação a lente. Para ver uma imagem aumentada, a tela deve ser afastada da lente.
19. A pupila do olho é um círculo preto ou um objeto na superfície do olho.
20. O olho recebe imagens diretas (que não são invertidas).
21. A lente é a única parte do olho responsável pela focalização da luz.

Fonte: Powerful Ideas in Physical Science (32).

Quadro 2.5 – Concepções que os alunos devem desenvolver.

1. Emissão da luz a partir de uma fonte - a luz se propaga a partir de todos os pontos da fonte de luz, em todas as direções.
2. propagação retilínea- a luz se propaga em linha reta até atingir uma superfície.
3. Reprodução de uma fonte - para reproduzir um padrão de luz que seja uma reprodução de sua fonte, a luz de cada ponto do padrão deve ser originada de apenas um ponto da fonte.
4. Reflexão da luz - a luz é refletida por uma superfície de acordo com a lei da reflexão: o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência
5. Refração - quando a luz passa de uma meio transparente a outro, ela muda de direção, este processo é chamado de refração. Quando passo do ar a um meio material sólido ou líquido, a luz desvia (se aproximando da normal) de aproximadamente $1/3$ do ângulo entre a incidência e a normal (ângulo de incidência). Quando a luz passa do sólido ou líquido para o ar, o feixe de luz se afasta da normal por aproximadamente $1/2$ do ângulo entre a normal e a direção original.
6. Imagem Real - a imagem real de um ponto é formada quando: 1) a luz diverge a partir de um objeto e; 2) é redirecionada pelo dispositivo ótico de tal forma a convergir em outro ponto do espaço. A imagem real é a coleção de todos os pontos da imagem.
7. O olho como instrumento ótico - o olho é um instrumento ótico cujo objetivo é formar imagens nítidas de objetos externos em sua tela (a retina). As partes funcionais principais do olho são: córnea, íris, lente e retina.
8. Enxergando um objeto - para que um objeto seja visto, a luz precisa divergir do objeto e entrar no olho do observador.
9. A retina contém regiões sensíveis a luz - a parte central da retina consiste de um grande número de pequenos sensores (regiões sensíveis). Quando a luz atinge uma destas regiões, um sinal elétrico é enviado ao cérebro. A magnitude deste sinal aumenta com a intensidade da luz.
10. Imagem Virtual - a imagem virtual de um ponto é formada quando a luz: 1) diverge de um ponto; 2) é redirecionada por um dispositivo ótico de tal forma a parecer divergir de outro ponto no espaço e; 3) entrar no olho do observador o qual percebe a imagem como localizada neste outro ponto.

Fonte: Powerful Ideas in Physical Science (32).

A seguir, descrevemos um exemplo de aplicação de PEF (o ciclo interativo de pesquisa, desenvolvimento do currículo e da instrução) sobre a propagação da luz. A pesquisa inicia-se com a aplicação de um teste (Figura 2.4) aplicado a mais de 1200 estudantes do Ensino Superior, que são questionados para desenhar o que eles viriam no anteparo (sua previsão).

Figura 2.4. Teste sobre propagação da luz. Solicita-se prever o que aparece no anteparo nas seguintes situações: (a) uma máscara com um furo triangular é colocado entre uma pequena lâmpada. (c) uma máscara com um furo triangular é colocado entre duas pequenas lâmpadas e o anteparo. (e) uma máscara com um furo triangular é colocado entre uma lâmpada extensa e o anteparo. As respostas corretas às perguntas estão representadas em b, d e f. (42).

Embora a quantidade de instrução dos alunos fosse variada (nenhuma instrução; após prática de laboratório sobre traçado de raios em espelhos planos; após aulas teóricas e após laboratório), os resultados obtidos no teste foram os mesmos (Quadro 2.6). Para responder corretamente, os estudantes devem reconhecer que: (1) a luz viaja em linha reta e (2) uma fonte extensa pode ser tratada como uma série de fontes pontuais.

Quadro 2.6 – Resultado do pré-teste mostrado na figura-1.

		Estudantes em curso baseado em cálculo ($N \sim 1215$)	Estudantes em curso baseado em álgebra ($N \sim 165$)
Uma pequena lâmpada	Resposta correta: Uma imagem triangular	90%	90%
Duas lâmpadas pequenas	Resposta correta: Duas imagens triangulares Resposta incorreta mais comum: Uma imagem triangular	60%	30%
Uma lâmpada de filamento longo	Resposta correta: Imagem triangular na vertical com triangular em cima. Resposta incorreta mais comum: Imitam a imagem do orifício triangular da máscara.	35% 20%	60% < 5%
		60%	90%

Fonte: Development and assessment of a research-based tutorial on light and shadow (42).

Os resultados deste teste foram utilizados na elaboração de um tutorial sobre este tema. A avaliação de sua efetividade foi feita pela aplicação de um pós-teste, com 415 estudantes em três classes diferentes (Figura 2.5).

Aproximadamente 45% dos estudantes deram uma resposta completamente correta. Alguns não incluíram a imagem formada pela pequena lâmpada ou a incluíram de maneira errada. Entretanto, este resultado mostra uma melhora em relação ao pré-teste.

O desenvolvimento e evolução do tutorial continua com o acréscimo de uma nova questão investigativa (Figura 2.6).

Nesta fase os estudantes reconhecem que a imagem resulta de uma combinação de triângulos provenientes de cada ponto da lâmpada.

Após a modificação da versão inicial, foi realizada outra avaliação da efetividade da nova versão. Para tanto, foram avaliados 360 estudantes em quatro classes diferentes. Os pós-

testes #2-#4 são baseados nas combinações das fontes de luz e das aberturas das máscaras, veja Figura 2.7.

Figura 2.7. Pós-testes #2-#4: (a-c) foi pedido aos estudantes para esboçar o que eles veriam no anteparo quando as lâmpadas fossem ligadas. A abertura da máscara do Pós-testes #2 é a letra “F”. A abertura da máscara do Pós-testes #3 é o número “7”. A abertura da máscara do Pós-testes #4 tem a forma de um “J”. Estas perguntas foram usadas como pós-testes para avaliar a eficácia do tutorial modificado *Luz e sombra* no curso baseado em cálculo. (d-f) respostas corretas às perguntas do pós-teste (42).

Considerando somente as fontes extensas, 60% dos estudantes deram uma resposta correta. Veja a coluna três do Quadro 2.7.

Quadro 2.7. Resultados do pré- e pós-teste (fonte extensa).

		Estudantes em curso baseado em cálculo		Estudantes em curso baseado em álgebra		Participantes seminários de pós-graduação
	Pré-teste antes do tutorial (N~1215)	Pós-teste #1 Após iniciar o tutorial (N~415)	Pós-teste #2-#4 Após modificar o tutorial (N~360)	Pré-teste antes do tutorial (N~165)	Pós-teste#1 depois da modificação do tutorial (N~165)	Pré-teste antes do tutorial (N~110)
Resposta correta	20%	50%	60%	<5%	60%	55%
Resposta correta ou próxima da correta	20%	60%	80%	<5%	70%	65%
Resposta incorreta: Imagem que imita a forma do furo da máscara	70%	25%	10%	90%	20%	30%

Fonte: Development and assessment of a research-based tutorial on light and shadow (42).

A porcentagem dos estudantes que responderam corretamente ou quase corretamente no pré-teste permaneceu em 20% mas a porcentagem comparável no pós-teste aumentou para 60%. Somente 25% dos estudantes extraíram uma imagem da mesma forma que o furo na máscara, como contrastada com o 70% quem fez este erro no pré-teste.

A maioria dos estudantes começa um curso de Física na universidade com o conhecimento que a luz viaja em uma linha reta. Como foram mostrados, entretanto, muitos emergem da física introdutória sem poder aplicar este conhecimento. O tutorial *Luz e sombra* (30) ajuda os estudantes a desenvolverem uma compreensão funcional dos princípios básicos da óptica geométrica que mais tarde fundamentam os estudos sobre espelhos e lentes. O desenvolvimento de uma estrutura conceitual sólida e de habilidades científicas de raciocínio não são resultados típicos de um curso padrão. Sem o desenvolvimento simultâneo de habilidade de raciocínio qualitativo e a prática em resolver problemas quantitativos é improvável contribuir para uma aprendizagem mais efetiva (27).

3 EXPERIMENTOS DE ÓTICA

Neste capítulo descrevemos os roteiros das práticas, as aplicações deles em um Projeto Piloto, no Ensino Médio (EM) e no Ensino Superior (ES).

3.1 INTRODUÇÃO

Seguindo a abordagem de Aprendizagem Ativa, desenvolvemos três roteiros para experimentação de Ótica Geométrica que abordam os assuntos sobre Luz e Sombra, Método de Paralaxe, Traçado de Raios, Refração e Lentes Côncavas e Convexas (Apêndice B).

Estes roteiros são destinados aos estudantes e foram desenvolvidos de tal maneira que expusessem as concepções alternativas dos estudantes, visando o conflito cognitivo e a acomodação do novo conceito, cientificamente correto. Além disso, os experimentos e questionamentos estão inter-relacionados, orientando os alunos em suas descobertas, para que eles alcancem o conceito Físico proposto, sem que o professor dê respostas prontas, levando-os a construírem seus próprios conhecimentos.

A metodologia presente nestes roteiros tem o objetivo de engajar os estudantes em experiências significativas, ajudando-os a compreender o papel da observação direta do mundo Físico e distinguir a diferença entre as inferências baseados na teoria e os resultados experimentais.

Para auxiliar o professor com a metodologia de AA e com os materiais experimentais, desenvolvemos também um guia de orientação para o professor sobre as práticas (vide Apêndice C).

3.2 PRÁTICAS

Os experimentos propostos nos roteiros podem ser realizados através de um Trilho Ótico e de materiais de fácil aquisição (Figura 3.1).

O roteiro da Prática-1 é composto pelos experimentos de Luz e Sombra, Método de Paralaxe e Traçado de Raios. Pretende-se desenvolver o conceito da propagação retilínea da luz e sua aplicação por meio das atividades de Luz e Sombra. Bem como desenvolver o método de paralaxe e o traçado de raios para aplicá-los na determinação de imagem formada em espelho plano.

Figura 3.1. Foto do kit para as atividades experimentais.

O roteiro da Prática-2 é composto pelos experimentos de Refração, Formação de Imagem e Índice de Refração. Pretende-se que os alunos aprendam o conceito da refração da luz e apliquem para determinar o índice de refração relativo de materiais como, por exemplo, do acrílico.

O roteiro da Prática-3 é composto pelos experimentos com lentes delgadas, convexa e côncava. Pretende-se que os estudantes compreendam as terminologias básicas (eixo principal, ponto focal e distância focal), diferenciar os dois tipos de lentes, investigarem os raios de luz ao atravessar cada um dos dois tipos de lente, e formação de imagens em lentes convergentes e divergentes.

Nas três práticas, os procedimentos de bancada são semelhantes ao do laboratório tradicional, o diferencial é a metodologia de Aprendizagem Ativa (AA).

3.3 APLICAÇÕES DOS ROTEIROS DE EXPERIMENTAÇÃO

As atividades foram aplicadas a diversas pessoas: professores do Ensino Fundamental (EF), alunos do Ensino Médio (EM) e do Ensino Superior (ES). A Tabela 3.1 resume a aplicação do material.

Tabela 3.1 – Aplicação do material.

	Diagnóstico		Piloto					(EM)	(ES)
	25 prof. (EF)	32 alunos (ES)	E-1	E-2	E-3	E-4	GP-1 GP-2	55 alunos	26 alunos
Prática-1	x	x	x	---	---	x	x	x	x
Prática-2	---	---	---	x	x	---	---	---	x
Prática-3	---	---	x	x	x	---	---	---	x
Teste diag.	x	x	---	---	---	---	---	---	---
Entrevista	---	x	x	x	x	x	---	x	---
Pré- e pós- teste	---	---	---	---	---	---	x	x	x

Na primeira linha estão dispostas as fases da aplicação do material. Na segunda linha consta o número de estudantes que realizaram as atividades e na coluna-1 as atividades desenvolvidas e aplicadas. Nas demais linhas e colunas foram assinaladas quais atividades eles realizaram. Estas atividades foram sendo aplicadas conforme íamos concluindo os roteiros. As colunas estão na ordem cronológica da aplicação do material. Os “x” mostra as atividades realizadas. Os estudantes que realizaram as atividades Piloto individualmente foram denominados de E-1, E-2, E-3 e E-4, e os que realizaram em grupo de GP-1 (2 alunos) e de GP-2 (3 alunos).

Preparamos um teste diagnóstico mostrado na Figura 3.2, que foi aplicado a 32 estudantes do 4º ano do ES no IFSC e para 25 professores do Ensino Fundamental do primeiro ciclo em um curso de formação continuada de professores no CDCC. Após fazerem os testes, eles realizaram a primeira versão dos experimentos sobre Luz e Sombra, que foram adaptados de Physics by Inquiry (29).

Figura 3.2. Teste sobre propagação da luz. Solicita-se que o estudante preveja o que aparece no anteparo nas seguintes situações: (a) uma máscara com um furo triangular colocada entre uma pequena lâmpada e um anteparo. (b) uma máscara com um furo triangular colocado entre duas pequenas lâmpadas e um anteparo. (c) uma máscara com um furo triangular é colocado entre uma lâmpada extensa e um anteparo. Adaptada da referência: (27), veja fig. 2.4 da secção 2.4.

O Quadro 3.2 mostra o número de respostas certas e erradas ao teste diagnóstico aplicado a 32 alunos do ES, bem como exemplos de suas respostas.

Quadro 3.2 – Respostas dadas a aplicação do teste diagnóstico no ES.

Questões	Exemplo de respostas
Questão – 1	
Correta: 27 alunos (84%)	<ul style="list-style-type: none"> No anteparo aparecerá a imagem de um triângulo.
Errada: 5 alunos (16%)	<ul style="list-style-type: none"> Não haverá formação de imagem; Desenho de um triângulo de ponta cabeça.
Questão – 2	
Correta: 13 alunos (40%)	<ul style="list-style-type: none"> Desenharam dois triângulos.
Errada: 19 alunos (60%)	<ul style="list-style-type: none"> Um triângulo; Desenho de dois triângulos invertidos; Um triângulo com interferência construtiva e destrutiva.
Questão – 3	
Correta: 4 alunos (12%)	<ul style="list-style-type: none"> Desenharam ou deram a resposta correta.
Aparentemente correta: 6 alunos (19%)	<ul style="list-style-type: none"> Um triângulo alongado; Um retângulo imitando a lâmpada.
Errada: 22 alunos (69%)	<ul style="list-style-type: none"> Um triângulo.

Na questão-1, a maioria dos estudantes (84%) respondeu corretamente, desenhando ou escrevendo que viram um triângulo.

Na segunda questão o grau de dificuldade aumentou um pouco e 19 estudantes (60%) a responderam com inconsistência. Desses 19 alunos, dois desenharam 2 triângulos, porém invertidos, dois acreditavam que iria aparecer um triângulo com padrão de interferência e um

disse que não veria nada. A metade dos alunos acreditava que iriam ver apenas uma figura iluminada.

Na terceira questão, a maioria dos estudantes (88%) respondeu erradamente. Destes, 69% desenharam ou disseram que veriam apenas um triângulo.

O quadro 3.3 mostra o número de respostas certas e erradas ao teste diagnóstico aplicado a 25 professores do ensino fundamental, bem como exemplos de suas respostas.

Quadro 3.3 – Respostas dadas a aplicação do teste diagnóstico a professores do EF.

Questões	Exemplo dos tipos de respostas
Questão – 1	
Correta: 15 prof. (60%)	<ul style="list-style-type: none"> • No anteparo aparecerá à imagem de um triângulo.
Errada: 10 prof. (40%)	<ul style="list-style-type: none"> • Um borrão maior que o triângulo aparecerá no anteparo; • Será observado um pontinho luminoso no anteparo; • Forma um ponto de luz.
Questão – 2	
Correta: 4 prof. (16%)	<ul style="list-style-type: none"> • Desenharam dois triângulos.
Errada: 21 prof. (84%)	<ul style="list-style-type: none"> • Um triângulo; • Aparecerá imagem “borrada” do triângulo no anteparo; • A imagem do triângulo aparecerá distorcida; • Imagem maior; • Um ponto mais forte; • Nenhuma imagem;
Questão – 3	
Errada: 25 prof. (100%)	<ul style="list-style-type: none"> • Desenharam ou escreveram um triângulo; • Desenharam um retângulo na vertical; • Desenharam um triângulo com uma penumbra também na forma triangular (<i>ficando um triângulo dentro do outro</i>) (<i>mostrando que de um ponto parte os raios</i>);

Na questão-1, a maioria dos professores (60%) respondeu corretamente, desenhando ou escrevendo que viram um triângulo.

Na segunda questão 21 professores (84%) a responderam com inconsistência. A maioria acreditava que iriam ver apenas uma figura iluminada.

No terceiro teste, todos os professores (100%) responderam erradamente. Destes, 69% desenharam ou disseram que veriam apenas um triângulo.

O resultado dos testes diagnósticos, respondidos tanto pelos estudantes quanto pelos professores, confirmou os resultados Heron e McDermott (27) e nos motivou a inclusão das atividades de Luz e Sombra em nossos roteiros.

Nosso Projeto Piloto foi aplicado no IFSC. Contamos com nove voluntários (alunos do EM e graduandos que ainda não tinham cursado Ótica Geométrica) que realizaram os roteiros da Prática-1 a Prática-3. Conforme exposto na Tabela 3.1, os quatro estudantes (E-1 – E-4) realizaram as práticas e participaram de uma entrevista, 30 dias após o término da experimentação, ambas realizadas individualmente. Os outros cinco estudantes compuseram dois grupos (GP-1 e GP-2), realizaram a prática-1 e responderam pré- e pós-teste. O tempo médio para a realização de cada prática foi de 3 horas e 30 minutos. O pré-teste foi aplicado 20 minutos antes das aulas e o pós-teste 15 dias depois.

Os roteiros da Prática-1 também foram aplicados no Ensino Público (2007), na E. E. Prof. José Juliano Neto a duas salas do terceiro ano do Ensino Médio (EM). Os 55 estudantes realizaram os experimentos em grupo (12 grupos de 4 e 5 alunos). Nesta escola realizamos entrevistas com apenas 3 grupos (10 estudantes voluntários) feitas na própria escola 20 dias após o término da experimentação. Durante a aplicação dos roteiros e realização das entrevistas pudemos acompanhar as dificuldades que emergiram e desta forma melhorar o material, bem como verificar a aceitação da metodologia de AA.

Aplicamos as três práticas a 26 estudantes do Ensino Superior (ES) no 3º ano do curso noturno de Licenciatura em Ciências Exatas, no Laboratório de Física C do IFSC (Termodinâmica e Ótica). Os estudantes foram divididos em nove grupos. As aulas foram ministradas em dois dias com duração de quatro horas cada, sendo o intervalo entre elas de duas semanas.

Desta maneira, a efetividade pôde ser avaliada das seguintes formas: monitoramento durante as aplicações, análise dos relatórios, entrevistas e pré- e pós-teste. No tópico 3.5 e no 3.4, descrevemos a planilha utilizada nas entrevistas e os pré- e pós-teste respectivamente.

3.4 RELATÓRIOS

Na análise dos relatórios procuramos observar a interação dos estudantes com a metodologia. Se eles realmente tinham feito as previsões antes de realizarem os experimentos, discutido em grupo e confrontando suas previsões com os resultados experimentais. Constatamos que, de um modo geral, os estudantes seguiram a metodologia.

A seguir descrevemos um exemplo desta interação referente ao tópico Luz e Sombra. A Figura 3.3 auxiliou os alunos a preverem o que eles veriam no anteparo ao acenderem uma lâmpada fluorescente (fonte extensa). Este questionamento exige mais raciocínio dos estudantes, pois é preciso relacionar o novo desafio com as soluções encontradas nas etapas anteriores.

Figura 3.3. O aluno é solicitado a prever o que ele veria no anteparo se utilizasse uma lâmpada fluorescente de luminária em vez da pequena lâmpada.

Apenas o grupo III (8%) respondeu a previsão corretamente com o esboço e por escrito, escrevendo “*veremos um retângulo com as extremidades arredondadas*”. Dois exemplos de respostas incorretas que encontramos nos demais grupos são: “*aparecerá a*

imagem do círculo no anteparo juntamente com a sombra da máscara” e “não importa o tamanho da lâmpada ou a quantidade de luz emitida, a imagem formada no anteparo será de um aro, alterando seu tamanho apenas com a alteração da distância”. Após a realização dos experimentos todos os grupos (100%) registraram suas observações corretamente. A resposta mais comum, é que observaram a imagem de um “cilindro brilhante”. Por exemplo, o grupo IV afirmou que “A imagem formada é semelhante à lâmpada, a imagem passa a ter formato cilíndrico, temos a impressão de ver uma imagem cilíndrica, mas na verdade vemos a sucessão de imagens na forma de círculos, que alinhados lado a lado nos dão esta impressão de ver uma imagem de maior comprimento”, o grupo V escreveu “não aconteceu o que previmos, a imagem que saiu no anteparo foi um cilindro, e ao passarmos os dedos abertos vimos um conjunto de várias bolinhas” e o grupo IX relatou que “ao fazer a comparação observamos que o resultado obtido na realidade foi que no anteparo se forma como se fosse um cilindro invertido, mas na realidade esse cilindro nada mais é do que vários círculos próximos”.

Durante o monitoramento em sala de aula e através da análise dos relatórios constatei que os alunos participaram ativamente desta nova abordagem, tornando-os mais cientes de suas habilidades e mais responsáveis para sua própria aprendizagem. Acredito que por meio dos resultados que obtivemos, esta nova visão de aprender ciências foi incorporada pelos estudantes, pois se mostraram capazes de desenvolver modelos conceituais mais robustos e uma compreensão satisfatória do conceito fundamental da propagação retilínea da luz e sua aplicação. Outro ponto positivo é que os alunos são incentivados a fazer representações (desenhos) relacionando princípios físicos e observações do mundo real. O que é fundamental para a resolução de problemas não só em óptica geométrica, mas em todas as áreas da física.

3.5 ENTREVISTAS

As entrevistas foram realizadas individualmente com quatro estudantes no IFSC (E-1 a E-4) e com 10 alunos em grupo (G-1 a G-3) na E. E. Prof. José Juliano Neto (EM) na cidade de São Carlos-SP.

Para a realização das entrevistas elaboramos algumas questões que julgamos importante para a avaliação do material e da metodologia, e as dispusemos em uma planilha. Tais perguntas se referem à análise da abordagem (desafio de fazer a predição e aprendizagem), do material (apostila, equipamento e experimento) e uma comparação entre previsão e experimentação.

Nas entrevistas procurou-se fazer um diálogo mais informal, deixando-os livres para expressarem suas opiniões, sendo as conversas gravadas em fitas cassete e os pontos importantes transcritos (vide apêndice E).

Vale ressaltar que os estudantes não tiveram contato com a planilha e que suas questões foram utilizadas apenas como orientação, sendo feitas durante a conversa. A seguir apresentamos a planilha no Quadro 3.4.

Analisando as falas dos estudantes tanto no piloto como no EM, as respostas à primeira pergunta (análise da metodologia) mostraram-nos que eles se sentiram desafiados frente às previsões e que ao fazê-las sua curiosidade foi despertada, levando-os a pensar sobre os conceitos abordados, por exemplo:

“fazer previsões antes de saber a resposta me pareceu desafiador, o que de fato, tenha despertado minha curiosidade ainda mais, já que depois eu sempre queria saber se minha resposta estava correta” (E-1);

“desperta a curiosidades”, “era legal realizar o experimento para saber se estava certo ou errado” e “era mais legal ainda quando dava certo. Conseguimos pensar numa coisa que estava certa” (G-1);

“A gente não sabia o que ia acontecer e depois que fez cada um teve uma expectativa”, “dava vontade de saber o que ia acontecer” (G-2).

Tabela 3.4 – Planilha utilizada para direcionar as entrevistas.

<p>ANÁLISE DA METODOLOGIA:</p> <p>1- Vocês se sentiram desafiados ao fazer as previsões? Sentiram medo de errar? Fazer a previsão desperta curiosidade em saber a resposta? E em realizar o experimento para saber se sua idéia esta correta ou errada?</p> <p>2- Com o método de prever o que vai acontecer antes de fazer o experimento vocês aprenderam mais ou menos? Este método ajuda a guardar o que vocês aprenderam? Será que fazendo a previsão antes do experimento ajuda a guardar por mais tempo (por exemplo, 6 / 12 meses) o que vocês aprenderam?</p> <p>ANÁLISE DOS ROTEIROS</p> <p>3- Qual a opinião de vocês sobre os enunciados e os desenhos? Nos enunciados estava claro o que era para ser feito? Se não, onde e por quê? Seria necessário detalhar mais os enunciados. Os desenhos ajudaram a entender o que era para ser feito? É necessária mais figuras?</p> <p>ANÁLISE DO EQUIPAMENTO</p> <p>4- O que vocês acharam do material utilizado? Era de fácil manuseio? Era simples ou não? O material foi eficiente para investigar o conteúdo da prática?</p> <p>5- Qual (is) experimento (s) você achou mais interessante? Foi fácil realizar os experimentos? Quais partes foram mais fáceis e quais foram mais difíceis? Por quê? (luz, sombra, paralaxe, espelhos...).</p> <p>COMPARANDO PREVISÃO E EXPERIMENTO</p> <p>6- O que você mais gostou das aulas práticas? Experimento ou previsão? As maiores facilidades estavam em realizar os experimentos ou em fazer as previsões do que iria acontecer? O que vocês acharam mais importante para as suas aprendizagens? As previsões, os experimentos ou ambos? Por quê?</p> <p>COMPARANDO COM E SEM EXPERIMENTOS</p> <p>7- Como você avalia seu aprendizado com o auxílio dos experimentos? Comente se eles não fossem utilizados? Comparando com o método de ensino de uma aula do dia a dia, em qual delas você acha que se aprende mais? Será que ao realizar os experimentos não ajudaria a guardar por mais tempo (6/ 12 meses) o que vocês aprenderam?</p>

Ao responderem a segunda questão (aprendizado por meio da metodologia), disseram que com esta abordagem se aprende mais, por exemplo:

“as pessoas aprendem mais, pois precisam pensar para prever o que ocorrerá no experimento, fazendo com que isso fique por muito mais tempo na “cabeça” (E-2);

“Se você faz o experimento você vai falar acontece isso, aqui você vai ter que pensar um pouco o que será que vai acontecer para depois realizar o experimento” (G-3).

As respostas à terceira questão (enunciados e desenhos) revelam que os desenhos e enunciados estavam claros, por exemplo:

“não tive nenhuma dificuldade com os enunciados ou desenhos, todos estavam bem claros quanto ao que se pedia. A respeito dos desenhos, eles sempre ajudam a entender o que se pede” (E-2);

“quase sempre estava claro o que era para ser feito. Tive dúvidas na pergunta das lâmpadas ‘alinhadas’. Neste caso teria ajudado um desenho. Os desenhos ajudaram muito e eram fáceis de entender” (E-4);

“vendo o desenho na seqüência você já faz a previsão de cabeça, mas por escrito é mais difícil... da vontade de ligar para ver a resposta” (G-3).

Durante as aulas, referente ao Método de Paralaxe, também tínhamos notado a dificuldade deles em manusear os lápis. Este é um exemplo de como utilizamos nosso monitoramento e a entrevista para melhorarmos os roteiros.

Frente à quarta pergunta (análise do equipamento), os alunos disseram que o material é prático e de simples manuseio, por exemplo:

“bastante simples, sem nenhuma dificuldade para manuseá-lo” (E-1);

“os instrumentos necessários são bem básicos e fáceis de usar e eficiente” (E-4);

“era fácil de manusear, simples, o material foi suficiente” e que “deu para ver legal” (G-1).

Na quinta questão (referente aos experimentos), houve divergência na opinião dos estudantes, porém suas respostas nos mostraram que os experimentos foram viáveis, por exemplo:

“as partes mais fáceis que achei, foi desenhar os raios, incidir e refletir nas lentes e também as experiências sobre sombra e penumbra” (E-2);

“o do espelho eu acho, colocava o parafuso aí imaginava que a imagem ia tá para ‘cá’ e não atrás, foi difícil para enxergar, mas o legal é que dava certinho” e “gostamos de quebrar a cabeça e tentar fazer o experimento” (G-1).

As respostas à sexta questão (comparação entre previsão e experimento) indicam que os estudantes têm dificuldades em fazer a previsão, uma vez que ele requer concentração e reflexão, por exemplo:

“gostei mais dos experimentos, já que você mesmo manuseia os materiais, o que ajuda a fixar o conhecimento. Sendo ambos, as previsões e a experimentações importantes para o aprendizado, um completa o outro” (E-3);

“a previsão é mais difícil, vem um monte de idéias e a gente não sabe o que vai acontecer” (G-2);

“gostamos mais do experimento do que da previsão, na previsão a gente não sabia se íamos acertar, dava medo de errar. O mais importante para aprender é a previsão, porque a gente vê o que está errado” (G-1).

Na sétima pergunta falam que é mais fácil de aprender utilizando experimentação do que com aulas apenas expositivas, por exemplo:

“Nos laboratórios que tinha tido até então, não havia espaço pra previsões, apenas tinha que realizar o que estava escrito no roteiro, portanto realizando previsões e fazendo os experimentos, acredito que o que foi aprendido seja guardado por mais tempo. Os experimentos são muito importantes e não devem ser descartados” (E-3);

“aprendi mais do que em uma sala de aula, pois com o material experimental você vê o que acontece na prática, não fica só na teoria, observa a Física no Mundo Real. Fosse bom que em

todas as salas de aula tivessem laboratórios para os professores mostrarem os experimentos na prática” (E-2);

As entrevistas nos mostraram de um modo geral que os roteiros e a metodologia são bem aceitos por estes estudantes e que tanto as atividades de previsão como as de experimentação foram eficientes, levando-os a pensar sobre os conceitos abordados.

3.6 PRÉ E PÓS-TESTE

O pré- e pós-testes são constituídos por um conjunto de onze questões com figuras ilustrativas possuindo respostas de múltipla escolha, foram elaborados de acordo com os conceitos abordados nos roteiros desenvolvidos. Foram aplicados no ensino médio e no ensino superior, sendo o pós-teste realizado 15 dias após o término das atividades. Os resultados foram dispostos em tabelas e gráficos e analisados com o objetivo de verificar a evolução do aprendizado dos estudantes e conseqüentemente a validade da metodologia. As questões que compõe os pré- e pós-testes encontram-se no apêndice F.

A fim de fazermos uma análise quantitativa, comparamos as respostas aos pré- e pós-teste. Abaixo mostramos na Tabela 3.1 e no histograma (Figura 3.4) as porcentagens de acertos em cada questão, dadas pelos vinte e seis estudantes do ES.

Tabela 3.1 – Pré- e pós-teste respondido por 26 estudantes do ES.

Questões	Pré-teste (% de acertos)	Pós-teste (% de acertos)
1	50	83
2	11	87
3	69	87
4	31	54
5	46	62
6	42	79
7	8	4
8	11	42
9	23	46
10	20	33
11	8	87

Figura 3.4. Histograma referente ao pré- e pós-teste aplicado ao ES.

No ES, como podemos ver, a diferença percentual de acertos entre pré- e pós-teste referente às questões um e dois foi significativa: de 33%, passando de 50% para 83% na primeira questão e na segunda questão de 72%, uma melhora de 11% para 83%.

Na questão três, houve um aumento na porcentagem de acerto dos alunos no pós-teste, tendo uma variação de 18%, de 69% para 87%. Devido à resistência que os alunos têm em aceitar que a imagem se forma atrás do espelho plano, a diferença percentual não foi grande.

Na questão quatro, também houve um aumento na porcentagem de acerto dos alunos no pós-teste, tendo uma variação de 23%, passando de 31% para 54%.

Na quinta questão, a porcentagem de acerto no pré-teste foi de 46%, enquanto que no pós-teste de 62%, mostrando que após a atividade referente ao campo visual houve uma melhora que pode ser visualizada pela diferença percentual de 16%.

Visto a dificuldade que os alunos do EM tiveram em observar o fenômeno da refração, na sexta questão, os alunos do ES foram previamente alertados para utilizarem régua para analisar a figura deste teste. Assim, a porcentagem de acertos do pré-teste (42%) aumentou significativamente para 79% no pós-teste, resultando em uma grande melhora. Este resultado sugere que o mau desempenho dos alunos do EM nesta questão se deve à falha da figura.

Na questão sete, a porcentagem de acertos dos estudantes no pré-teste foi de 8%, e caiu no pós-teste para 4%. Tanto no pré-teste quanto no pós-teste, 65% destes alunos optaram erradamente pela alternativa (D). Como o conceito de que a luz converge devido ao formato convexo do material está correto, acreditamos que um questionamento na forma de exercício sobre o que acontece com o raio de luz em relação à reta normal, quando este passa do ar para o acrílico é de fundamental importância para os estudantes refletirem sobre este conceito.

Nas questões de 8-11, a porcentagem de acertos no pós-teste superou as do pré-teste, como podemos visualizar através do histograma (Figura 3.4). Uma melhora significativa foi observada na questão 11 sobre formação de imagem através do traçado de raios. Neste histograma pode se verificar que, de modo geral, os alunos tiveram maior porcentagem de acertos no pós-teste, indicando uma melhora no aprendizado deles e conseqüentemente a eficiência da metodologia de AA.

4 DEMONSTRAÇÕES DE ÓTICA

Neste capítulo apresentamos os equipamentos que o professor pode utilizar, os conteúdos dos roteiros e a resultados da aplicação das demonstrações.

4.1 INTRODUÇÃO

Os roteiros de demonstrações foram desenvolvidos para o uso dos professores, neles é apresentada uma sequência de atividades com uma série de questionamentos que pretende extrair as idéias dos estudantes. Os roteiros do professor trazem notas para auxiliá-lo com a metodologia de AA e com as demonstrações, além das questões presentes no roteiro do aluno, que estão destacadas em negrito.

Figura 4.1. Foto ilustrando o aparato para demonstrar a formação de imagem.

Figura 4.2. Foto do aparato para demonstrar o fenômeno da refração.

Figura 4.3. Foto da lousa ótica (~70cm x 50cm) com seus elementos.

Para a realização das demonstrações foi utilizado um espelho plano de aproximadamente 30cm x 30cm, suporte para montar o espelho em pé sobre uma superfície horizontal (mesa), uma lâmpada incandescente com soquete (Figura 4.1); um recipiente transparente, um apontador laser, pó para refresco de pigmento amarelo, água (Figura 4.2) e uma “Lousa Ótica” portátil e de fácil manipulação.

O conceito de lousa ótica existe tanto na literatura didática como comercialmente a muito tempo. As lousas convencionais, tal como as comercializadas pela Pasco, Pywe e Leybold usam lâmpadas halogênicas. Estes sistemas não têm muita luminosidade apesar de apresentar alto custo. O sistema completo (lousa, componentes de acrílico e sistema de iluminação com 5 raios) da Pasco custa ~ US\$ 2600 e US\$ 1700 no caso da Pywe.

Figura 4.4. Vista de frente (a) e de trás (b) da lousa ótica (43)

A universidade de Maryland dispõe de uma grande coleção de demonstrações didáticas, abrangendo todo o conteúdo de Física. Eles construíram uma lousa ótica (*optical board*) visando principalmente as demonstrações de Ótica Geométrica (43). Esta lousa utiliza um projetor de slides como fonte de luz de 250W. É um aparato grande, (~ 3m x 1,5m) que usa componentes óticos pesados, com 5cm de espessura, portanto com alto custo e difícil fixação na lousa (vide Figura 4.5). Além disso, sua utilização só é eficiente em uma sala escura pois sua luminosidade é baixa (muito menor que os sistemas com laser). Entretanto, deve-se notar que os sistemas de luz branca possibilitam a demonstração de efeitos de cor, tais como a separação das cores com um prisma ou o efeito arco-íris. Em São Carlos, o grupo do Prof. Bagnato no IFSC construiu uma lousa inspirada na da Universidade de Maryland e foram publicados dois artigos sobre estas demonstrações (44-45).

O aparato desenvolvido pelo nosso grupo (Figura 4.3) contém uma chapa metálica revestida com uma fórmica áspera, texturizada e com desenho quadriculado. A utilização da superfície áspera permite que o observador vê o espalhamento da luz que está perpendicular a

direção de propagação do feixe. Cinco lasers de diodo ($\lambda \sim 650$ nm) são utilizados como raios de luz. Um filtro de acrílico vermelho cobre a frente da lousa, para melhor visualização das demonstrações sem a necessidade de apagar a luz do ambiente, já que o filtro transmite a luz do laser e não transmite a maior parte da luz branca do ambiente. Desta maneira o contraste ou visibilidade dos feixes é aumentada significativamente. Um conjunto de elementos óticos (lentes e espelhos) e representações esquemáticas (desenhos de câmera fotográfica, olho normal, míope e hipermetrope) integram a lousa ótica. Estimamos que o custo do material seja de ~ 500 R\$.

4. 2 DEMONSTRAÇÕES

No Quadro 4.1 mostramos resumidamente os conteúdos abordados nos oito roteiros, seus títulos e o equipamento utilizado.

Quadro 4.1 – Visão geral dos roteiros de demonstração.

Conteúdos	Demonstrações	Equipamento
Formação de imagens em espelho plano	D-1: Você sempre vê as reflexões em espelhos?	Espelho Plano ($\sim 30\text{cm} \times 30\text{cm}$), suporte para mantê-lo em “pé” e uma lâmpada gead.
Raios de luz	D-2: Como a luz é refletida em um espelho plano?	Lousa Ótica
Refração	D-3: Como a luz muda de direção quando passa através de um material transparente?	Lousa Ótica
Lentes Convergentes: Raios paralelos e distância focal	D-4: O que acontece com raios de luz que incidem paralelamente em uma lente convexa?	Lousa Ótica
Lentes Divergentes: Raios paralelos e distância focal	D-5: O que acontece com raios de luz que incidem paralelamente em uma lente côncava?	Lousa Ótica
Raios incidentes com ângulo	D-6: O que acontece quando raios de luz não paralelos incidem nas lentes convergentes e divergentes?	Lousa Ótica
Instrumentos óticos	D-7: Como funciona uma câmara fotográfica?	Lousa Ótica
	D-8: Como um olho funciona?	Lousa Ótica

Chamamos de “D” as demonstrações.

4.3 APLICAÇÃO

Os roteiros (Apêndice A) foram aplicados em um mini curso no IFSC e em sala de aula na E. E. Joaquim Rodrigues Azenha, em ambos a estudantes do EM.

No mini-curso as demonstrações sobre formação de imagem em espelho plano (D-1) e refração (D-3) foram aplicadas a 42 estudantes de diversas escolas que visitaram o Instituto em outubro de 2007 e participaram de um mini-curso de 4 horas. Estes alunos responderam a pré- e pós-teste.

O pré-teste foi aplicado nos primeiros 20 minutos (individualmente) e o pós-teste ao final do curso. A fim de fazermos uma análise quantitativa, comparamos as respostas dos testes. Abaixo mostramos na Tabela 4.1 e no histograma (Figura-4.5) as porcentagens de acertos em cada questão.

Tabela 4.2 – Pré- e pós-teste respondido por 42 estudantes do EM

Questões	Pré-teste (% de acertos)	Pós-teste (% de acertos)
3	9,5	21,4
4	14,3	31,0
5	7,1	31,0
6	24,3	---
7	16,2	32,4

As questões 3-5 são sobre espelho plano e as 6 e 7 são referente à refração. Decidimos iniciar com o número 3, pois são as mesmas do capítulo anterior.

Figura 4.5. Histograma referente ao pré- e pós-teste aplicado ao EM.

As questões 1 e 2 são relativas à formação de imagens em espelhos planos. Na questão 1, a concepção alternativa de que a imagem se forma na frente do espelho plano foi mostrada em 57% das respostas deles. Na questão 2, a concepção alternativa de que o tamanho da imagem formada pelo espelho plano depende da distância do objeto ao espelho foi bem nítida.

Todavia, em ambas houve maior número de acertos no pós-teste, resultando em uma melhora, de 9,5% para 21,4% no teste 1 e de 14,3% para 31% no teste 2.

No teste 3, referente ao campo visual, a porcentagem de acertos do pré-teste ficou em 7% e aumentou para 31% no pós-teste, resultando em uma melhora significativa.

As questões 4 e 5 referem-se à refração.

Na questão 4 (Tabela 4.2), tivemos evidências que a figura deste exercício pode ter confundido os alunos, o que levou 48,6% deles a optar pela alternativa (“C”) no pós-teste, mostrado no histograma (Figura 4.4). Entretanto este fato não mostrou ter interferido no aprendizado dos alunos, uma vez que deram a resposta correta, segundo suas interpretações da figura, pois, sem a utilização de uma régua, é difícil perceber o desvio do raio refratado.

Na questão 5 a porcentagem de acertos no pré-teste foi de 16% e no pós-teste de 32%, mostrando uma evolução no aprendizado deste conceito após a realização das atividades sobre refração.

O histograma (Figura 4.4) nos mostra que de modo geral, os alunos tiveram maior porcentagem de acerto no pós-teste, indicando a viabilidade dos roteiros de demonstração e da metodologia empregada.

Na E. E. Joaquim Rodrigues Azenha, Nova Odessa - SP, os roteiros de demonstração D-1, e de D4 a D-8 foram aplicados por uma professora durante o primeiro semestre de 2008, a três turmas da 2^a série do ensino médio (por volta de 100 estudantes). Ela preparou as aulas, realizando as atividades antes da utilização em sala de aula e os roteiros foram trabalhados juntamente com a Lousa Ótica.

Para avaliarmos a viabilidade de aplicação dos roteiros, solicitamos à professora que inicialmente redigisse uma reflexão sobre o material e sobre sua aplicação. Posteriormente, foi realizada uma entrevista. Estas formas de avaliação revelaram-nos resultados satisfatórios diante do envolvimento esperado dos estudantes com a metodologia empregada. Segundo a

professora em questão “o uso do material facilitou muito o desenvolvimento do conteúdo, pois fez com que os alunos se interessassem pelo assunto e prestassem atenção nas demonstrações, questionando o que estava sendo apresentado... os alunos de modo geral aceitaram bem o método, apesar de terem medo de errar ao fazer a previsão... eles fizeram as previsões em dupla e em trio, o que facilitou a discussão... certamente a demonstração dos problemas da visão foram os que mais os atraíram... acho que o método é um complemento às aulas e deve ser mesclado com outras formas didáticas. Quanto à minha opinião, só posso ter gostado, principalmente pelo fato de ser um conteúdo abstrato que sem demonstrações torna-se muito difícil e tedioso. O método mostrado na apostila é um ótimo direcionamento para o uso e aplicação da Lousa Ótica, estimulando os alunos a pensarem e questionarem o que lhes é apresentado”.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, produzimos roteiros de experimentação e de demonstração para ensinar Ótica Geométrica, que contemplam a abordagem de **AA** (Aprendizagem Ativa) e os resultados da **PEF** (Pesquisa em Ensino de Física), bem como um manual de orientação para o professor.

Realizamos também uma pesquisa de campo envolvendo alunos do Ensino Médio (**EM**) e Ensino Superior (**ES**), bem como professores de Ciências do EF do Primeiro Ciclo. Os roteiros foram aplicados individualmente e em grupo num projeto piloto. No EM foi aplicado em um mini-curso e em uma turma regular do terceiro ano (escola pública). No ES, na disciplina de Laboratório de Ótica para o terceiro ano do curso de Licenciatura em Ciências Exatas.

As ferramentas de avaliação que utilizamos foram: testes escritos, monitoramento em sala de aula, entrevistas e análise de relatórios. Os resultados indicaram um grande envolvimento dos alunos com os roteiros, a eficiência da metodologia de AA, além de mostrar que erros podem frequentemente ser modificados e adaptados, orientando a elaboração de novas versões de roteiros que requerem mais raciocínio dos estudantes.

Consideramos muito importante a aula de laboratório por permitir que os estudantes tenham um contato direto com o experimento, manusear, etc. Entretanto, as dificuldades de implementação destas aulas em escolas públicas (EM) são grandes: falta de laboratório adequado, apoio técnico, material experimental, etc. Embora a maioria destes fatores sejam contornáveis, a falta de tempo (horas aulas) é o principal fator limitante, considerando-se que o curso tem 100 minutos de aula por semana. Desta maneira, as aulas de demonstração aparecem como uma opção de maior viabilidade para complementar a aula de laboratório, permitindo abordar um conteúdo maior. A estratégia de Demonstração Interativa surge como

uma alternativa de AA à demonstração tradicional, cuja ineficácia é comprovada em PEF (25).

Durante a aplicação destes roteiros, percebi que a abordagem de AA desperta a curiosidade dos estudantes e provoca seu envolvimento durante a aprendizagem, levando-os a pensar sobre os conceitos de Física abordados, sendo estas as principais vantagens evidenciadas.

As idéias sobre as perspectivas para trabalhos futuros foram amadurecendo ao finalizar a aplicação dos roteiros. Neste momento surgiram novas idéias para formulação de outros testes diagnósticos (pré e pós-teste), de entrevistas e de novos questionamentos a serem colocados nos roteiros, tornando-se claro a importância do constante aprimoramento e aplicação em diversos ambientes. Deparei-me com o pensamento de que meu trabalho não teria um fim, a pesquisa em ensino é dinâmica, e à medida que a sociedade evolui, o ensino não pode ficar para trás. Deste modo, as metodologias de ensino para se aprender ciências precisam evoluir junto com a sociedade.

Novas propostas de ensino vão surgindo não só nos países desenvolvidos, mas também nos em desenvolvimento, um exemplo é a nova proposta curricular sugerida pela Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, que apliquei no ano de 2008 ao lecionar Física para o Ensino Médio na rede pública. Percebi que o trabalho da minha pesquisa poderia contribuir muito com esta nova proposta curricular. Assim, um trabalho envolvendo nosso material de AA, voltado para a nova proposta curricular poderia se expandir ainda mais, neste sentido que almejo elaborar um projeto para o doutorado.

Além da divulgação do trabalho em eventos acadêmicos, pretendemos publicar um livro de atividades de laboratório de Ótica Geométrica, com orientações para o professor, contemplando a abordagem de AA.

REFERÊNCIAS

1. HAMBURGER , R. (Coord.) et al. **Ensino de ótica moderna - capacitação de professores, desenvolvimento de experimentos e demonstrações**: impacto no ensino público. São Carlos, 1997. Projeto FAPESP- Ensino Público, Processo nº 96/8218-8, período: abril de 97 a março de 99.
2. CATUNDA, T.; MURAMATSU, M.(Coord.). **Ensino de ondas e ótica moderna** – parte II. São Carlos: IFSC; IF, 2001-2006 Projeto FAPESP-Ensino Público, Processo nº 00/065850-6.
3. HOROWICZ, R. (Coord.) et al. **Curso de extensão e utilização de recursos laboratoriais para o ensino de ótica no segundo grau da rede pública**. São Carlos, IFSC, 1998. Projeto FAPESP, Processo nº 1997/11963- Pró-ciências, período: março a dezembro de 98.
4. SARTORI, J.; CATUNDA, T.; NUNES, L. A. O. Using a PC as a frequency meter or a counter. **American Journal of Physics** , v. 63, n. 12, p. 1152-1153, 1995.
5. FAGUNDES, D. F. et al. High sensitivity electroscope. **School Science Review**, v. 78, n. 285, p. 115, 1997.
6. CATUNDA, T. et al. Laser de semiconductor visível: um instrumento didático de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, p. 230-237, 1998.
7. CATUNDA, T.; SARTORI, J.; NUNES, L. A. O. Plane wave: a didactic experiment to measure the wavelength of light. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 4, p. 548-549, 1998.
8. COSTA G. G. G. et al. Caixa de Cores para o estudo de mistura de luzes coloridas. **Física na Escola**, v. 9, p.25-28, 2008.
9. COSTA G. G. G.; CATUNDA, T. Investigação das dificuldades conceituais dos estudantes sobre circuitos elétricos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2008, Curitiba. **Resumos...** Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0210-1.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2009.

10. ROBERTO, E. V.; COSTA, G. G. G.; CATUNDA, T. Aprendizagem ativa em óptica geométrica: desenvolvimento de instrumentos investigativos. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2008, Curitiba. **Resumos...** Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0210-2.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2009.
11. MCDERMOTT, L.C. Millikan Lecture 1990: what we teach and what is learned-closing the gap. **American Journal of Physics**, v. 59, p. 301-315, 1991.
12. PENA F. L. A. Por que, apesar do grande avanço da pesquisa acadêmica sobre ensino de Física no Brasil, ainda há pouca aplicação dos resultados em sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 4, p. 293-295. 2004.
13. GASPAR, A. **Cinqüenta anos de ensino de física**: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor. Disponível em: <platp.if.usp.br/~fep0348n/texto_5.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2007.
14. PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**: primeira parte. 6. ed. São Paulo: EDART, 1970.
15. PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Guia do professor**. 6. ed. São Paulo: EDART, 1970. v.1.
16. PROJETO DE FÍSICA (Projeto HARVARD): guia do Professor – Unidade I. Tradução de Maria Odete Valente. Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkan, 1978.
17. PINHO ALVES, J. F. **Atividades experimentais**: do método à prática construtivista. 2000. 303p. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
18. MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: retrospectiva e perspectiva. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.
19. SOARES, V. L. L. **Laboratório didático de física no ciclo básico da universidade**. 1977. 118p. Dissertação (Mestrado em Física), Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.
20. BERNARD C. H.; EPP, C. D. **Laboratory experiments in college physics**. New York: Wiley, 1995. 387 p.
21. LOYD, D. H. **Physics**: laboratory manual. New York, USA: Thomson Learning, 2000. 566 p.
22. VENCATO, I.; Pinto, A. V. A. **Física experimental II**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992. 147p.

23. MAZUR, E. **Peer instruction**: a user's manual. New Jersey: Prentice Hall, 1997, 253p.
24. THORNTON, R. K.; SOKOLOFF, D. R. Assessing student learning of newton's laws: the force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 4, p. 338-351, 1998.
25. UNESCO. **Active learning in optics and photonics (ALOP)**: training manual. . [S.l], 2006. 248p.
26. LAWS, P.W. Calculus-based physics without lectures. **Physics Today**, v. 44, n. 12, p. 24-31, 1991.
27. HERON, P. R. L.; MCDERMOTT, L. C. Bridging the gap. **Optics and Photonics News**, v. 9, p. 30-36, 1998.
28. MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S.; MARK, L. **Physics by inquiry**: an introduction to physics and the physical sciences. New York : Wiley, 1996. v.1.
29. MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P. S.; MARK, L. **Physics by inquiry**: an introduction to physics and the physical sciences. New York: Wiley, 1996. v.2.
30. MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P.S.; **Tutorials in introductory physics**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 245p.
31. SOKOLOFF, D. R.; THORNTON, R. K. **Interactive lecture demonstration**: active learning in introductory physics. Hoboken: Wiley, 2004. 374p.
32. AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS. **Powerful ideas in physical science**: light and color. Maryland, USA: AIP, 1996, 358p.
33. AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS TEACHERS. Goals of the introductory physics laboratory. **Physics Teacher**, v. 35, p. 546-548, 1997.
34. CARVALHO, A. M. P. (Coord.) et al. **Termodinâmica**: um ensino por investigação. São Paulo: FEUSP, 1999. 123p.
35. CARVALHO, A. M. P.; AZEVEDO, M. C.; NASCIMENTO, V. B.; CAPECCHI, M.C. M.; VANNUCCHI, A. I.; CASTRO, R. S.; PIETROCOLA, M.; VIANNA, D. M.; ARAÚJO, R. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: Carvalho, A. M. P. (Org.). **Ensino de ciências**: unindo a pesquisa e a prática. 1 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004, v. 1, p. 19-33.
36. STUART, N. Uso da pesquisa em ensino de física na prática docente. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p.259, 2001.

37. GIRCOREANO, J. P.; PACCA, J. L. A. O ensino de óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n.1, p. 26-40, 2001.
38. GIRCOREANO, J. P. **O ensino da óptica e as concepções sobre luz e visão**. 1997. 155 p. Dissertação (Mestrado em Física), Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
39. GOLDBERG, F.M.; MCDERMOTT, L.C. Students difficulties in understanding image formation by a plane mirror. **Physics Teacher**, v. 24, p. 472-480, 1986.
40. HARRES, J. B. S. Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de ótica geométrica. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, v. 10, n. 3, p. 220-234, 1993.
41. BARROS, M. A. **A evolução das concepções dos estudantes secundários sobre visão em situação de ensino**. 1996. 172p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1996.
42. WOSILAIT, K. et al. Development and assessment of a research-based tutorial on light and shadow. **Optics and Photonics News**, v. 9, p. 30-36, 1998.
43. OPTICAL board configuration: basic setup of optical board for most demonstrations. Disponível em: <<http://www.physics.umd.edu/lecDEM/services/demos/demos12/12-00.htm>>. Acesso em: 16 fev. 2009.
44. MISOGUTI, L. et al. Lentes esféricas: uma demonstração para alunos do Segundo grau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 19, p. 448-450, 1996.
45. MENDONÇA, C. R. et al. Demonstrações de Reflexão total interna para alunos do segundo grau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, p. 296-300, 1997.
46. MCDERMOTT, L. C.; SHAFFER, P.S.; **Tutorials in introductory physics: homework**. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 179p.

APÊNDICE A –Demonstrações de Ótica Geométrica

Demonstração-1: Você sempre vê as reflexões em espelhos?

Adaptado de Powerful Ideas in Physical Science (32).

Equipamento: Espelho plano; suporte para montar o espelho em pé sobre uma superfície horizontal (mesa) e uma lâmpada incandescente com soquete.

1. Qual é a sua idéia? A luz reflete no espelho? Qual é a evidência de que isto acontece?

2. Qual é a idéia de seu grupo? Escreva as idéias que o grupo elaborou que sejam diferentes das suas.

Nota para o professor: A maioria dos estudantes está ciente de que o espelho reflete a luz, mas o importante é levantar e considerar quais as evidências que eles conhecem que sustentam este fato. Eles podem desenhar um esquema mostrando como imaginam que a luz se comporta quando é refletida pelo espelho. Até este momento nenhum argumento deve ser feito sobre o comportamento da luz; os estudantes devem ter oportunidade de expressar suas idéias.

O propósito destas questões é motivar o surgimento de idéias sobre a reflexão da luz que será desenvolvido numa outra atividade.

Desenvolvimento:

Monte o espelho plano sobre uma mesa e cubra-o com um tecido preto e peça a três alunos voluntários que se posicionem a frente do espelho como mostra a Figura 1. Utilizando fita adesiva cada aluno deve marcar sua posição no chão. Posicione a lâmpada um pouco a direita como mostrado na Figura 1 e ligue-a.

3. Fazendo observações: Seu professor tem sobre sua mesa um espelho plano coberto com um tecido preto e uma lâmpada acesa. Após o espelho ser descoberto, qual dos três estudantes poderá ver a reflexão da lâmpada através do espelho? A Figura-1, abaixo ilustra a disposição da lâmpada do espelho e dos três alunos.

Figura 1. Montagem para a demonstração interativa-1

Nota para o professor: Peça aos três estudantes que se sentem num único grupo e discutam suas idéias. Após ter dado a oportunidade para todos representarem suas idéias, chame novamente os três alunos para suas posições e então descubra o espelho.

4. Qual dos estudantes será capaz de ver a reflexão da lâmpada? O observado está de acordo com as idéias iniciais? Caso sua resposta não esteja de acordo com sua observação elabore uma explicação para esta inconsistência.

Demonstração-2: Como a luz é refletida em um espelho plano?

Adaptado de Powerful Ideas in Physical Science (32).

Nota para o professor: O objetivo mostrar que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão e mostrar que os raios de luz são independentes (um feixe não desvia do outro quando se interceptam no mesmo ponto).

Equipamento: “Lousa Óptica”

1. Qual é a sua idéia? O diagrama da Figura-1 ao lado mostra um raio de luz incidindo com um ângulo em um espelho plano. Como é o raio refletido? Desenhe suas idéias no diagrama?

Figura 1. Raio de luz incidindo com um ângulo em um espelho plano (32)

2. Qual é a idéia do seu grupo? Escreva as idéias que o grupo elaborou que sejam diferentes das suas.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro. Na lousa óptica, alinhe o feixe central e o espelho plano com a face metálica voltada para o laser, de tal modo que os feixes incidam perpendicularmente na superfície plana da lente. Então gire o espelho com um ângulo de 45°, demonstrando o que acontece.

3. Fazendo observações: Seu professor incidirá o feixe de luz com um ângulo no espelho plano. O que você observou? Caso sua resposta não esteja de acordo com sua observação elabore uma explicação para esta inconsistência.

Nota para o professor: Após a realização da demonstração. Conclua, fazendo no quadro negro, um esquema (vide Figura-2 abaixo) contendo o espelho, o feixe incidente e o feixe refletido. Mas não coloque no quadro negro os ângulos.

Figura 2. Raio de luz incidindo com um ângulo em um espelho plano (sugestão para o professor desenhar no quadro negro).

4. Fazendo sentido: Construa uma afirmação de como a luz reflete num espelho plano.

Nota para o professor: Deixe os alunos construírem suas afirmações, fornecendo apenas alguns auxílios, mas não dê a resposta. Após os alunos formularem suas respostas, ligue novamente o laser.

Utilizando a geometria, podemos ver que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, pois, o feixe está num material quadriculado.

No quadro negro introduza a idéia da reta normal use a seguinte afirmação: A luz reflete na superfície de acordo com a lei da reflexão: “o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência”. Agora coloquem no esquema os ângulos de incidência e de reflexão (45°). Peça para a sala responder o que acontece se você mudar o ângulo de incidência, em relação à reta normal, para 60° . Faça a demonstração e um esquema no quadro negro e peça para eles anotarem.

5. Qual é a sua idéia? Seu professor possui quatro feixes de luz e incide em quatro espelhos planos, como mostra a Figura-3. Como são os feixes refletidos? Desenhe suas idéias no diagrama?

Figura 3. Esquema para reflexão de feixes de luz incidente em espelhos planos

6. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua esboços que o grupo elaborou que sejam diferentes das suas.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos, no quadro negro registre os desenhos mais representativos.

Na lousa óptica, alinhe os quatro feixes de luz e os quatro espelhos de tal modo que os feixes incidam perpendicularmente ao espelho. Gire levemente os espelhos para fazer uma montagem semelhante à mostrada na figura acima, demonstrando para a classe o que acontece. Enfatize a reta normal e que os ângulos de incidência e de reflexão são iguais.

7. Fazendo observações: Seu professor incidirá os quatro feixes de luz nos quatro espelhos. O que você observou? Caso sua resposta não esteja de acordo com sua observação elabore uma explicação para esta inconsistência.

Nota para o professor: No quadro negro faça um esquema mostrando os espelhos, os feixes incidentes e os refletidos, chamando a atenção para o fato de que os feixes não sofreram nenhuma alteração em sua trajetória quando se cruzam com outro feixe. Para melhor representar este fato, desenhe um dos feixes pontilhados. Veja a Figura-4.

Na lousa óptica com o dedo bloqueie e desbloqueie um dos feixes para que os alunos possam ver a sua continuidade independente dos demais feixes.

No quadro negro enuncie a propriedade de que a luz se propaga em trajetória retilínea e que seus feixes são independentes, ou seja, após se cruzarem não sofrem perturbações na direção de propagação.

Figura 4. Esquema mostrando o que acontece quando feixes de luz incidem com ângulo em espelhos planos

Demonstração-3: Como a luz muda de direção quando passa através de um material transparente?

Adaptado de Powerful Ideas in Physical Science (32).

Equipamento: aquário com refresco diluído em água, lousa ótica com feixe único, sólido semicircular e prisma triangular.

Nota para o professor: O objetivo desta sequência de demonstrações é ajudar o estudante a desenvolver um enunciado que descreva o comportamento da luz quando se propaga do ar para um meio material e do meio material ao ar. Sugerimos apresentar a demonstração em várias partes, tal como mostrado a seguir.

1. Qual é sua idéia? Seu professor incidiu perpendicularmente um raio de luz em um aquário com refresco diluído em água (veja Figura-1). Como você acha que o feixe de luz se comportará ao incidir com um ângulo, e ao incidir pela lateral, como mostram as Figura-2 e Figura-3 respectivamente? Desenhe a continuação destes raios, dentro do recipiente.

Figura 1. Raio de luz incidindo perpendicularmente do ar para a água.

Figura 2. Raio de luz incidindo com um ângulo do ar para a água.

Figura 3. Raio de luz incidindo perpendicularmente do ar para o recipiente e para a água.

2. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua esboços e idéias daquelas que são diferentes das suas.

3. Fazendo observações: Seu professor incidirá o raio de luz pelo aquário com um ângulo e pela lateral. O que você observou? Concorda com sua previsão? Se não, como diferiu?

Nota para o professor: Na lousa ótica, alinhe o feixe e o bloco semicircular de tal modo a que o feixe incida perpendicularmente a sua superfície. Neste caso o feixe deve passar em linha reta, sem mudar de direção.

4. Qual é sua idéia? Seu professor tem uma montagem onde você pode observar um feixe de luz passando pela face plana de um bloco semicircular. (veja Figura-4). Como você acha que o feixe se comportará se ele entrar na face plana com um ângulo, como exposto na Figura-5?

Figura 4. Raio de luz atravessando a face plana de um bloco semicircular de acrílico.

Figura 5. Raio de luz incidindo com um ângulo na face plana de um bloco semicircular de acrílico.

5. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua esboços e idéias daquelas que são diferentes das suas.

6. Fazendo observações: Seu professor passará o raio de luz pelo bloco com um ângulo. O que você observou? Concorde com sua previsão? Se não, como diferiu?

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos na lousa. Depois faça a demonstração. Mostre o que acontece quando ângulo de incidência aumenta.

Faça um esboço esquemático na lousa (vide Figura-6). Peça aos alunos para descrever suas observações. Mencione que este fenômeno é conhecido há muito tempo pela comunidade científica concluindo que ele pode ser descrito em termos de alguns parâmetros. Use um esboço para definir os seguintes termos: linha normal, ângulo de incidência e linha de direção inicial.

Figura 6. Esboço mostrando a linha normal, o ângulo de incidência e a direção inicial do feixe de luz.

Nota para o professor: A mudança da direção da luz quando ela se propaga do ar para um material transparente é chamada refração. Depois de extensiva experimentação, a comunidade de físicos chegou a um enunciado matemático que descreve quanto a luz muda de direção. Este valor depende de dois fatores: o ângulo de incidência e das propriedades do material no qual o feixe se propaga. Este enunciado matemático é conhecido com Lei de Snell.

Nota adicional-1

Dependendo da turma, este enunciado matemático pode ser um pouco complicado (Lei de Snell). Por isso, sugerimos (32) o uso de um modelo aproximado, mas que é muito mais fácil de ser utilizada. Esta expressão sugere que o valor do desvio depende do ângulo de incidência, mas não do material. A luz muda de direção quando viaja através de um meio transparente a outro, este fenômeno é chamado de refração. Quando se propaga do ar para um meio sólido ou líquido, a luz se desvia se aproximando da normal por aproximadamente **um terço** do ângulo entre a direção inicial e a normal a superfície ($n_{\text{relativo}}=1/3$). Abaixo ilustramos um gráfico que dá uma idéia da validade desta aproximação. Nós usamos a lei de Snell para calcular o valor da refração (desvio) de um feixe que se propaga do ar para o vidro (índice de refração $n=1.52$) e do ar para a água ($n = 1.33$). Na Figura-7 comparamos o comportamento da expressão aproximada com a lei de Snell nestes dois casos (vidro e água). Note que o modelo aproximado é razoavelmente bom para ângulos menores que 70 graus.

Figura 7. Comparação do comportamento da aproximação (1/3) da lei de Snell para o vidro e para a água (32).

Use a lousa ótica para demonstrar o efeito de refração em um bloco semicircular, variando o ângulo de incidência entre 0° e 90° . Ajude os estudantes a perceber que a refração aumenta com o ângulo de incidência. Auxilie-os a traçar a normal a superfície.

7. Concluindo: Pratique usando as idéias de refração desenvolvidas na classe para estimar o que acontecerá com o raio de luz na Figura-8, Figura-9 e Figura10:

Figura 8. Raio de luz incidindo com ângulo pequeno.

Figura 9. Raio de luz incidindo com um ângulo intermediário.

Figura 10. Raio de luz incidindo com ângulo grande.

Nota para o professor: Faça a demonstração e depois coloque a questão a seguir

8. Qual é sua idéia? Seu professor mudou o experimento de modo que o feixe entre no bloco e se propague até sair dele (veja figura-11). Como você acha que o feixe se comportará se ele atingir a face plana com um ângulo, como exibido na figura-12?

Figura 11. Raio de luz atravessando a face semicircular e plana de um bloco de acrílico.

Figura 12. Raio de luz incidindo com um ângulo na face semicircular de um bloco de acrílico.

9. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua esboços e idéias que são diferentes das suas. Vocês conseguem alcançar um consenso?

Nota para o professor: Observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos na lousa. Depois faça a demonstração.

10. Fazendo observações: Seu professor realizará a demonstração descrita acima. O que você observou? Concorda com sua previsão? Se não, como elas diferem?

Nota para o professor: Peça aos alunos para descreverem suas observações. Quando a luz se propaga de um sólido ou líquido para o ar, ela se desvia afastando-se da normal. Veja o esquema representado na Figura-13. Faça o esquema no quadro negro.

Figura 13. Esquema mostrando o afastamento do feixe de luz da reta normal, quando a luz passa de um material de maior índice de refração para um de menor índice de refração.

Nota adicional-2

Mencione que se eles fizessem várias medidas poderiam chegar a um modelo aproximado, similar à anterior. O professor pode optar pela explicação de que o desvio é de aproximadamente a metade do ângulo entre a normal e a direção inicial. A aproximação enunciada acima é aproximadamente válida para ângulos de incidência menores que 60° , veja a figura-14.

Figura 14. Aproximação válida para ângulos de incidência menores que 60° . Referencia (32).

11. Concluindo: Pratique usando as idéias de refração desenvolvidas na classe para estimar o que acontecerá com o raio de luz representado na Figura-15 e na Figura-6:

Figura 15. Raio de luz incidindo com ângulo pequeno em relação à reta normal.

Figura 16. Raio de luz incidindo com ângulo grande em relação à reta normal.

Nota para o professor: A seguir desafie os estudantes com o caso de um prisma triangular. O procedimento para desenhar os raios é o mesmo dos casos anteriores, mas agora se devem considerar duas superfícies refratoras. Esboce o desenho da Figura-17 e pergunte:

Figura 17. Esquema da investigação do caso de um prisma triangular.

Considere um feixe de luz entrando (incidindo) em um lado de um prisma triangular sólido, como exibido na Figura-17. Esboce como você acha que a luz se comportará ao entrar no prisma e novamente quando sair do outro lado.

Nota para o professor: Deixe os alunos discutirem o problema, fornecendo algum auxílio quando necessário. Depois demonstre o que realmente acontece. A idéia principal é fazer que os estudantes reconheçam que o prisma realmente muda a direção do raio, fazendo que ele se desvie para a direção da base. Nós usaremos esta idéia posteriormente quando examinarmos como funciona uma lente.

Demonstração-4: O que acontece com raios de luz que incidem paralelamente em uma lente convexa?

Equipamento: “Lousa Óptica”, duas lente plano-convexa de 2,5 cm de espessura e uma de 5 cm de espessura

Raios paralelos e distância focal

Lentes convexas têm pelo menos uma das suas superfícies curvada para fora e é mais fina nas bordas que no meio. A Figura-1 mostra uma lente *plano-convexa* de perfil e um tracejado horizontal que representa o *eixo principal* da lente. O centro da lente é chamado de *centro óptico* da lente.

Figura 1. Lente plano-convexa, eixo principal e o centro óptico.

1. Qual é a sua idéia? Seu professor possui uma “lousa óptica” e incidirá três feixes de luz sobre a face plana de uma lente plano-convexa como representado na Figura-2. Como você acha que os feixes de luz se comportarão ao sair do outro lado da lente? Desenhe a continuação destes feixes do lado direito da lente.

Figura 2. Três feixes de luz incidindo na face plana de uma lente plano-convexa.

2. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua desenhos que sejam diferentes do seu.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro. Na lousa óptica, alinhe os três feixes centrais e a lente plano-convexa de 2,5cm de espessura, de tal modo que os feixes incidam perpendicularmente na superfície plana da lente. Faça a demonstração mostrando o que acontece.

3. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pela lente. O que você observou? Após a realização da demonstração, se seu desenho não estiver de acordo com o observado faça um novo desenho.

4. Concluindo: O que aconteceu com a continuação dos feixes de luz do outro lado da lente?

Nota para o professor: Após a realização da demonstração. Peça aos alunos para descreverem suas observações. Conclua, fazendo no quadro negro, um esboço esquemático (vide Figura-3) contendo o nome do ponto de cruzamento dos três feixes e explicita que os feixes de luz incidiram paralelamente (objeto no infinito) e que neste caso podemos definir o foco e a distância focal de uma lente convergente. Neste caso a refração ocorre apenas na superfície circular e assim a distância focal é medida sobre o eixo principal e vai da interface circular até o foco (ponto de cruzamento dos feixes). Meça esta distância com uma régua, que terá por volta de 40 cm e anote-a no esboço desenhado no quadro negro.

Figura 3. Esquema mostrando os feixes refratados e o foco de uma lente plano-convexa.

5. Qual é a sua idéia? Seu professor inverteu a posição da lente, como mostrado na Figura-4. Como você acha que os feixes de luz se comportarão ao atravessar a lente?

Figura 4. Raios de luz incidindo na face curva de uma lente plano-convexa.

6. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua desenhos e idéias que sejam diferentes da sua. Vocês conseguem chegar a um consenso?

Nota para o professor: Os tipos de lente utilizada em nossa lousa óptica são lentes espessas. Para uma lente espessa as duas refrações podem estar afastadas o suficiente uma da outra não permitindo considerar que a mudança de direção ocorra no plano central da lente, como geralmente é feito para lentes delgadas, porém para demonstrações qualitativas, não sendo necessárias grandes precisões nas medidas, tais lentes podem ser utilizadas normalmente. Não pretendemos discorrer com profundidade sobre o tema lentes espessas que é bastante longo. Porém, o final do roteiro apresenta alguns conceitos básicos para o professor.

7. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pela lente. O que você observou? Se sua resposta estiver inconsistente com o observado resolva a inconsistência.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro. Depois faça a demonstração. Estas distâncias focais são diferentes, pois estamos trabalhando com lentes espessas, mas esta diferença não é visível para os alunos durante a demonstração, sendo esta diferença inferior a 5%. Porém o objetivo desta demonstração não é a medida exata da distância focal, mas sim mostrar que independentemente do lado da lente que os feixes incidem, estes convergem num ponto, induzindo o pensamento da existência de um foco de cada lado da lente, veja o exercício três.

Variação do raio de curvatura de uma lente convexa

A Figura-5 representa duas lentes (A e B) com raios de curvatura diferente. Qual destas lentes possui maior raio de curvatura? Explique.

Nota para o professor: Deixe os alunos discutirem o problema, fornecendo algum auxílio quando necessário. A idéia desta sequência de demonstrações é desenvolver o conceito de que a distância focal varia com o raio de curvatura da lente.

Figura 5. Lentes plano-convexas com raios de curvatura diferentes.

8. Qual é a sua idéia? Seu professor incidirá feixes de Luz sobre duas lentes com raios de curvatura diferente. Onde você acha que os feixes de luz se cruzarão? Para os casos representados na Figura-6 e na Figura-7 faça um esboço mostrando qualitativamente onde os feixes de luz se cruzam. Compare qualitativamente as distâncias focais nos dois casos.

Figura 6. Primeiro esquema para comparar a relação entre a distância focal e o raio de curvatura de lentes plano-convexas.

Figura 7. Segundo esquema para comparar a relação entre a distância focal e o raio de curvatura de lentes plano-convexas

9. Qual é a idéia do seu grupo? Discuta com os membros do seu grupo a posição do ponto de cruzamento de seus desenhos.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro. Depois faça a demonstração. Mostre o que acontece em cada caso. Para as lentes A e B utilize as de 5 cm e 2,5 cm de espessura respectivamente.

10. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pelas lentes. O que você observou? Se sua resposta estiver inconsistente com o observado resolva qualquer discrepância.

11. Concluindo: Descreva individualmente uma relação entre o raio de curvatura de uma lente e sua distância focal. Compare suas idéias com as do seu grupo e tente chegar num consenso.

12. Qual é a sua idéia? Seu professor incidirá três feixes de luz em duas lentes plano-convexas idênticas, veja Figura-8. O ponto de cruzamento (foco) encontra-se mais próximo, mais distante ou na mesma posição do que com uma única lente? Explique.

Figura 8. Feixes de luz incidindo em duas lentes plano-convexas idênticas.

13. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua idéias e esboços que são diferentes do seu.

14. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pelas lentes. O que você observou? Faça um desenho qualitativamente correto comparando a distância focal com uma e com duas lentes.

Nota para o professor: Use a lousa óptica com a lente plano-convexa de 4 cm de espessura para demonstrar onde os feixes de luz convergem. Ajude os alunos a perceber que a distância focal com as duas lentes é praticamente a metade do que com apenas uma. Repita a demonstração com uma lente para que os alunos possam comparar visualmente as distâncias focais.

Nota adicional-3

A lousa óptica possui cinco feixes de luz, porém, para evitarmos a aberração esférica sugerimos que as demonstrações sejam realizadas com três feixes.

A aberração esférica ocorre em lentes esféricas simples, no qual o foco efetivo varia com a distância h que o raio incidente entra na lente (veja Figura-9). Para os raios paraxiais ($h \cong 0$) o foco é chamado de foco paraxial e os raios afastados do eixo óptico de uma distância h serão focalizados num outro ponto, chamado de foco periférico, ou marginal.

Figura 9. Esquema ilustrando a aberração esférica.

Para realizar uma demonstração de aberração esférica com a lousa óptica utilize os cinco feixes de luz disponíveis e a lente biconvexa de 6 cm de espessura.

Nota adicional-4

Para que seja válido o traçado dos raios principais neste tipo de lente é introduzida a idéia dos planos principais, que estão representados na Figura-10 pelas retas verticais. Por meio desta figura podemos observar que ao prolongarmos o raio que incide paralelamente ao eixo principal na primeira superfície e o raio emergente da segunda superfície, ocorrerá uma xinterseção. Neste ponto de interseção (H_2) é que consideramos a mudança de direção do feixe de luz e é a partir deste ponto que definimos o plano principal de saída. A mesma descrição se aplica ao raio que incide pelo foco, onde a mudança de direção ocorrerá no ponto H_1 , que pertence ao plano principal de entrada. Para uma lente espessa, a distância focal F_1 é a distância entre o primeiro ponto focal f_1 e o primeiro plano principal e a distância focal F_2 é a distância entre o segundo ponto focal f_2 e o segundo plano principal.

Figura 10. Esquema mostrando as distâncias focais de uma lente biconvexa espessa.

A posição do objeto o é medida em relação ao primeiro plano principal e a posição da imagem i é medida em relação ao segundo plano principal.

Para lentes espessas o cálculo para determinar a distância focal (f) em termos dos raios de curvatura de uma

lente é realizado mediante a expressão: $\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] + \frac{(n-1)^2}{n} \left[\frac{t}{r_1 r_2} \right]$, onde n é o índice de

refração do acrílico ($n = 1,48$), r_1 e r_2 são os raios de curvatura da lente e t é o comprimento da lente na região central. Para uma lente delgada ($t = 0$) ou lentes com um dos lados planos (r_1 ou r_2 infinito), o segundo

termo desta equação desaparece e obtemos a familiar expressão: $\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right]$.

Nestas atividades nos limitaremos a desenvolver nos alunos algumas denominações e mostrar qualitativamente os pontos focais e as distâncias focais de uma lente, não nos deteremos a calcular a posição de planos principais onde ocorre a refração da lente, para determinar com precisão a distância focal.

Demonstração-5: O que acontece com raios de luz que incidem paralelamente em uma lente côncava?

Equipamento: “Lousa Óptica”

Raios paralelos e distância focal

Lentes côncavas têm pelo menos uma das suas superfícies curvada para dentro e é mais fina no centro que nas bordas. A Figura-1 representa uma lente *plano-côncava* de perfil.

Figura1. Esquema mostrando uma lente plano-côncava, o eixo principal e o seu centro óptico

1. Qual é a sua idéia? Seu professor incidirá três feixes de luz sobre a face plana de uma lente plano-côncava como representado na Figura-2. Como você acha que os feixes de luz se comportarão ao sair do outro lado da lente?

Figura 2. Três feixes de luz incidindo na face plana de uma lente plano-côncava.

Desenhe a continuação destes feixes do lado direito da lente.

2. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua desenhos que o grupo elaborou que sejam diferentes do seu.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro. Na lousa óptica, alinhe os feixes (utilize o feixe central e os dois mais periféricos) e a lente de 0,5 cm de diâmetro, de tal modo que os feixes incidam perpendicularmente na superfície plana. Faça a demonstração mostrando os feixes divergentes. Pergunte para a classe: qual é a diferença dos feixes retratados por esta lente e de uma lente convergente? Após realizar a demonstração mostre, com o auxílio de uma régua, o prolongamento dos feixes refratados.

3. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pela lente. O que você observou? Após a realização da demonstração, se seu desenho não estiver de acordo com o observado faça um novo desenho.

4. Concluindo: Faça um prolongamento (utilize um traçado pontilhado) dos feixes de luz refratados do lado esquerdo da lente. Qual é o nome do ponto de cruzamento destes feixes de luz?

Nota para o professor: Após a realização da demonstração faça um esquema representativo da lente e dos feixes de luz (vide Figura-3) no quadro negro.

Peça aos alunos para utilizarem uma régua para desenharem em seus cadernos os prolongamentos dos raios.

Conclua explicitando que os feixes de luz incidiram paralelamente e que neste caso podemos utilizar o prolongamento destes feixes para encontrar o foco e a distância focal da lente.

Figura 3. Esquema mostrando os feixes refratados e o foco de uma lente plano-côncava.

5. Qual é a sua idéia? Seu professor inverteu a posição da lente, como mostrado na Figura-4. Como você acha que os feixes de luz se comportarão após atravessarem a lente?

Figura 4. Raios de luz incidindo na face curva de uma lente plano-côncava.

6. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua desenhos e idéias que são diferentes da sua. Vocês conseguem chegar a um consenso?

7. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pela lente. O que você observou? Se sua resposta estiver inconsistente com o observado resolva a inconsistência.

8. Concluindo: Compare a distância focal antes e depois do seu professor ter invertido a lente. A distância focal com a lente invertida é maior, menor ou igual? Explique.

Nota para o professor: Use a lousa óptica para demonstrar os feixes divergentes e com o auxílio de uma régua mostre o prolongamento destes feixes.

Esclareça rapidamente o efeito da reflexão que ocorre do lado esquerdo da lente, enfatizando que neste experimento ocorre tanto a refração quanto a reflexão e que nosso objetivo neste momento é apenas estudar o fenômeno de refração nas lentes.

Desenhe o segundo ponto focal no esquema feito no quadro negro.

Variação do raio de curvatura de uma lente convexa

A Figura-5 representa duas lentes (A e B) com raios de curvatura diferente. Qual lente possuem o maior raio de curvatura?

Nota para o professor: Deixe os alunos discutirem o problema, fornecendo algum auxílio quando necessário.

Figura5. Lentes plano-côncavas com raios de curvatura diferentes.

9. Qual é a sua idéia? Seu professor incidirá feixes de Luz sobre duas lentes com raios de curvatura diferente. Para cada um dos casos representados na Figura-6 e na Figura-7, onde você acha que os prolongamentos destes feixes se intersectam? Faça um desenho mostrando qualitativamente o ponto de cruzamento dos prolongamentos destes feixes, explicitando o ponto e a distância focal.

Figura 6. Primeiro esquema para comparar a relação entre a distância focal e o raio de curvatura de lentes plano-côncavas.

Figura7. Segundo esquema para comparar a relação entre a distância focal e o raio de curvatura de lentes plano-côncavas.

10. Qual é a idéia do seu grupo? Discuta com os membros do seu grupo a posição do ponto de cruzamento de seus desenhos.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro. Depois faça a demonstração mostrando o que realmente acontece em cada caso.

11. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pelas lentes. O que você observou? Se sua resposta estiver inconsistente com o observado resolva qualquer discrepância.

12. Concluindo: Descreva individualmente uma relação entre o raio de curvatura de uma lente e sua distância focal. Compare suas idéias com as do seu grupo e tente chegar num consenso.

Nota para o professor: Verifique se as idéias dos alunos estão corretas, caso necessário repita as demonstrações.

13. Qual é a sua idéia? Seu professor incidirá três raios de luz em duas lentes uma plano-côncava e outra plano-convexa com raios de curvatura idênticos, veja a Figura-8. Entre as duas lentes de acrílico ($n = 1,48$) é formada uma lente de ar ($n = 1$). O que acontecerá com os feixes do lado direito das lentes? Faça um desenho mostrando sua idéia.

Figura 8. Feixes de luz incidindo em uma lente plano-côncava e depois em uma plano-convexa de mesma curvatura.

14. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua idéias e esboços que são diferentes do seu.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro. Depois faça a demonstração.

15. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pelas lentes. O que você observou? Se sua resposta estiver inconsistente com o observado resolva a inconsistência.

Nota para o professor: Para a lente plano-côncava utilize a de 1 cm de diâmetro e para a plano-convexa a de 2,5 cm de diâmetro. Conclua questionando: porque não foi observado desvio dos feixes?

Reserve uma parte da próxima aula para correção dos exercícios propostos para casa, utilizando a lousa óptica para realizar as demonstrações.

Demonstração-6: O que acontece quando raios de luz não paralelos incidem nas lentes convergentes e divergentes?

Equipamento: “Lousa Óptica”

Raios incidentes com um ângulo

1. Qual é a sua idéia? Seu professor tem uma montagem onde você pode observar três feixes de luz incidindo numa lente biconvexa, paralelamente ao eixo principal (Olhe o esboço da Figura-1). Como você acha que os feixes de luz se comportarão depois de incidirem com um ângulo na segunda lente? Desenhe a continuação destes feixes do lado esquerdo da segunda lente.

Figura 1. Raios de luz incidindo com um ângulo numa lente biconvexa.

2. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua desenhos que sejam diferentes do seu.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro.

Na lousa óptica, alinhe os feixes (utilize o feixe central e os dois mais periféricos) e a lente de 6 cm de diâmetro, de tal modo que os feixes incidam na primeira lente paralelamente ao eixo principal, em seguida coloque a lente biconvexa de 4 cm de diâmetro de tal forma que os raios saiam paralelos. Faça a demonstração mostrando o que acontece. Enfatize que o foco a direita da primeira lente coincide com o foco do lado esquerdo da segunda lente. É importante realizar esta experiência antes da aula para ter as posições exatas das lentes. Você pode marcar tal posição com uma discreta marca a lápis.

3. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pelas duas lentes. O que você observou? Se seu desenho não estiver de acordo com o observado faça um novo desenho.

4. Concluindo: (a) Descreva o comportamento dos feixes de luz que incidem numa lente convergente paralelamente ao eixo principal (b) Descreva o comportamento dos feixes de luz que incidem passando pelo foco de uma lente convergente (c) Descreva o comportamento do feixe de luz que incide passando pelo centro óptico de uma lente convergente.

Nota para o professor: Faça um esquema representativo de uma lente biconvexa e de feixes de luz (vide Figura-2) no quadro negro. Enfatiza que estes feixes são denominados de **raios principais** e são utilizados em traçados de raios para determinar a posição da imagem.

Figura 2. Esquema mostrando os raios principais utilizados para determinar a posição da imagem.

5. Qual é a sua idéia? Seu professor incidirá feixes de luz paralelos (objeto distante da lente) e feixes de luz inclinados (objeto próximo da lente) em uma lente biconvexa, como representados na Figura-3 e na Figura-4 respectivamente. Em qual dos casos os feixes vão se cruzar mais distante da lente? Explique.

Figura 3. Feixes incidindo paralelamente em uma lente biconvexa (representando objeto muito distante da lente, no infinito).

Figura 4. Feixes incidindo com ângulo em uma lente biconvexa (representando um objeto próximo da lente).

6. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua esboços que o grupo elaborou que sejam diferentes do seu.

Nota para o professor: Na lousa óptica, alinhe os feixes (utilize os três feixes centrais) e a lente biconvexa de 6 cm de diâmetro de tal modo que os feixes de luz incidam paralelamente ao eixo principal da lente, demonstrando o que acontece.

Coloque uma lente plano-côncava de 0,5 cm de espessura a direita da primeira lente de tal modo que os raios incidam com um ângulo na lente biconvexa e demonstre o que acontece.

Nos dois casos meça as distâncias da lente biconvexa ao ponto de cruzamento dos feixes e faça a comparação para os alunos mostrando que feixes de luz de objetos distantes (feixes chegando à lente paralelamente) formam

imagens próximas à lente e feixes de luz de objetos próximos (feixes chegando à lente com ângulo) formam imagens mais distantes da lente. Faça um esquema representativo da lente e dos feixes de luz no quadro negro conforme a Figura-5 e a Figura-6.

É importante realizar esta experiência antes da aula para ter a posição exata das lentes. Você pode marcar tal posição com uma discreta marca a lápis.

Figura 5. Objeto distante (no infinito).

Figura 6. Objeto próximo.

7. Fazendo sentido: Usando as idéias desenvolvidas na aula, estime o que acontecerá com os raios de luz das configurações da Figura-7 e da Figura-8 respectivamente.

Figura 7. Objeto posicionado entre o foco e a lente biconvexa.

Figura 8. Objeto posicionado no foco de uma lente biconvexa.

Nota para o professor: Deixe os alunos discutirem o problema, fornecendo algum auxílio quando necessário. Depois demonstre o que realmente acontece em cada um dos casos.

Demonstração-7: Como funciona uma câmara fotográfica?

Equipamento: “lousa Óptica”, lente biconvexa de 6cm de espessura, lente plano-côncava de 0,5 cm de espessura e papel com a figura de uma câmara fotográfica.

Modelo de uma Câmara Fotográfica

1. Qual é a sua idéia? Seu professor possui uma lousa óptica com um modelo simplificado de uma câmara fotográfica e incidirá feixes de luz com uma pequena inclinação em sua lente (objeto relativamente próximo), veja Figura-1. Onde os raios de luz devem convergir para formar uma imagem nítida? Desenhe estes raios de luz.

Figura 1. Modelo de uma câmara fotográfica com feixes de luz incidindo com uma pequena inclinação em sua lente (objeto relativamente próximo).

Nota: Lembre-se que para facilitar o traçado de raios consideramos que a refração ocorre no centro da lente.

2. Qual é a idéia do seu grupo? Escreva as idéias e faça desenhos que o grupo elaborou que sejam diferentes do seu.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro.

3. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pela lente e demonstrará onde os raios de luz devem convergir. Se após a realização da demonstração, suas idéias não estiverem de acordo com o observado resolva a inconsistência.

Nota para o professor: Na lousa óptica, prenda na região central a folha com o desenho da máquina fotográfica. Em seguida coloque a lente biconvexa de 6 cm de diâmetro sobre o desenho. Para prender a folha utilize pequenos ímãs. Coloque uma lente plano-côncava de 0,5 cm de espessura a esquerda da lente biconvexa de tal modo que os raios incidam com um pequeno ângulo na lente biconvexa e converjam no filme fotográfico. É importante realizar esta experiência antes da aula para ter as posições exatas das lentes e da posição da folha com o desenho da máquina fotográfica. Você pode marcar tais posições com discretas marcas a lápis. Faça um esboço no quadro negro mostrando os feixes incidindo na câmara fotográfica e convergindo sobre o filme fotográfico.

4. Qual é a sua idéia? Uma máquina fotográfica pode fotografar com nitidez tanto objetos distantes como próximos. Como isto é possível?

5. Qual é a idéia do seu grupo? Escreva as idéias que o grupo elaborou que sejam diferentes da sua.

Nota para o professor: Levante algumas idéias dos alunos e escreva-as no quadro negro.

6. Qual é a sua idéia? A Figura-2 representa feixes de luz proveniente de um objeto muito próximo (feixes mais inclinados) da câmara fotográfica. Onde você acha que os feixes de luz convergirão? A imagem formada sobre o filme fotográfico será nítida? Explique.

Figura 2. Modelo de uma câmara fotográfica com feixes de luz incidindo com uma inclinação maior que na fig. 1 (objeto mais próximo).

7. Qual é a idéia do seu grupo? Escreva e desenhe as idéias que o grupo elaborou que sejam diferentes da sua.

Nota para o professor: Para realizar esta demonstração, coloque a lente plano-côncava de 0,5 cm de espessura a esquerda da lente biconvexa de tal modo que os raios incidam com um ângulo na lente biconvexa e converjam do lado direito do filme fotográfico. Então faça a demonstração mostrando o que acontece. Teste esta experiência antes da aula.

Faça no quadro negro um desenho desta nova configuração de tal maneira que possibilite que os dois esboços sejam comparados pelos alunos, para isso obedeça às mesmas dimensões do esboço anterior.

8. Fazendo observações: Seu professor demonstrará o que acontece. O que você observou? Se suas idéias não estiverem de acordo com o observado resolva a inconsistência.

9. Qual é a sua idéia? O que você acha que deve ser feito para que a imagem seja projetada sobre o filme fotográfico.

10. Qual é a idéia do seu grupo? Escreva as idéias que o grupo elaborou que sejam diferentes da sua.

11. Fazendo observações: Seu professor demonstrará o que deve ser feito para que a imagem seja projetada sobre o filme fotográfico. Se após a realização da demonstração, suas idéias não estiverem de acordo com o observado resolva a inconsistência.

Nota para o professor: Para que a imagem seja formada sobre o filme fotográfico, mova a lente da câmara fotográfica para a direita até que os feixes se cruzem sobre o filme fotográfico.

12. Concluindo: A Figura-3 mostra feixes de luz proveniente de um objeto muito distante (feixes paralelos) da câmara fotográfica. Pratique usando as idéias desenvolvidas anteriormente dizendo onde os feixes de luz se cruzarão? O que deve ser feito para que a imagem seja formada com nitidez sobre o filme fotográfico.

Figura 3. Modelo de uma câmara fotográfica com feixes de luz incidindo paralelamente na lente (objeto no infinito).

Nota para o professor: Deixe os alunos discutirem o problema e depois faça a demonstração. Para que a imagem seja formada sobre o filme fotográfico, mova a lente da câmara fotográfica para a esquerda até que os feixes se cruzem sobre o filme fotográfico.

Faça no quadro negro um desenho desta nova configuração de tal maneira que possibilite que os alunos comparem esta configuração com os outros dois esboços. Para isso obedeça às mesmas dimensões dos esboços anteriores.

Enfatize que as câmaras fotográficas possuem um dispositivo que permite movimentar a lente, e que em muitas câmaras este ajuste é automático.

Demonstração-8: Como um olho funciona?

Equipamento: “lousa Óptica”, lente biconvexa de 6cm de espessura, lente plano-côncava de 0,5 cm de espessura e papel com figuras de um olho normal, de um olho míope e de um olho hipermetrópe.

O propósito desta demonstração é desenvolver um modelo simples da visão e compreender que o olho é um instrumento óptico.

Um modelo simplificado do olho humano é constituído por uma câmara escura, íris, pupila, cristalino, músculo ciliar e retina onde estão as células fotossensíveis (cones e bastonetes). A Figura-1 mostra um esquema simplificado de um olho.

Figura 1. Esquema simplificado de um olho.

Nota para o professor: É importante que o professor frise para seus alunos que esta figura representa um modelo simplificado com o objetivo de facilitar a compreensão de tal estudo. E que este modelo possui os principais componentes ópticos responsáveis pela formação de imagens. Desenhe no quadro negro o modelo do olho que está representado na figura-1. Enfatize que a cristalino é uma lente natural do olho, responsável pela visão. Destaque também que o olho possui outros meios transparentes, além do cristalino e que este conjunto (córnea, humor aquoso, cristalino e corpo vítreo) será representado por uma única lente convexa durante as demonstrações. Discuta também a função do nervo óptico, da pupila e da íris.

1. Qual é a sua idéia? Seu professor possui uma lousa óptica com um modelo simplificado de um olho normal e incidirá feixes de luz paralelos em sua lente (cristalino), veja Figura-2. Onde os raios de luz devem convergir para enxergarmos uma imagem nítida? Desenhe estes raios de luz.

Figura 2. Modelo de um olho normal.

2. Qual é a idéia do seu grupo? Escreva as idéias e faça desenhos que o grupo elaborou que sejam diferentes do seu.

Nota para o professor: Dê uma volta na classe e observe os esboços dos alunos e desenhe alguns dos mais representativos no quadro negro.

3. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pela lente do olho e demonstrará onde os raios convergem. Se após a realização da demonstração, suas idéias não estiverem de acordo com o observado resolva a inconsistência.

Nota para o professor: Na lousa óptica, prenda na região central a folha com o desenho do olho normal. Em seguida coloque a lente biconvexa de 6 cm de diâmetro sobre o desenho. Para prender a folha utilize pequenos ímãs. É importante realizar esta experiência antes da aula para ter as posições exatas da lente e da posição do desenho do olho. Você pode marcar tais posições com discretas marcas a lápis.

Faça um esboço no quadro negro mostrando os feixes incidindo no olho e convergindo sobre a retina. Destaque a idéia de que olho é um instrumento óptico.

4. Qual é a sua idéia? Você pode observar objetos distantes e próximos. Como é possível que seus olhos sejam hábeis para isto?

5. Qual é a idéia do seu grupo? Escreva as idéias que o grupo elaborou que sejam diferentes da sua.

6. Fazendo sentido: Utilizando os conceitos desenvolvidos sobre variação do raio de curvatura em lentes convexas. O que você acha que acontece na lente do seu olho que permite ver objetos que estão longe e próximo do seu olho? Compare suas idéias com as que seu grupo elaborou. Vocês podem chegar num consenso?

Nota para o professor: De uma volta na sala e após os alunos terem respondido as perguntas questione-os com a pergunta: Como a lente do seu olho pode mudar sua forma? Enfatize que quando olhamos para um objeto distante os músculos ciliares fazem com que as lentes de nossos olhos fiquem mais delgadas e quando olhamos para um objeto mais próximo tais músculos fazem com que as lentes tornam-se mais espessas. Estas alterações na curvatura do cristalino que fazem as imagens sempre se formarem sobre a retina é denominado de **acomodação visual**. Porém, para objetos muito próximos, existe um limite de espessura em que a lente pode atingir e não podemos mais enxergá-los com nitidez, este ponto é denominado de **ponto próximo**.

7. Qual é a sua idéia? Seu professor incidirá feixes de luz paralelos na lente de um olho hipermetrope, veja a Figura-2 e num olho míope, veja Figura-3. Onde você acha que os raios de luz irão convergir em cada um dos casos? Desenhe estes raios de luz.

Figura 3. Modelo simplificado de um olho hipermetrope.

Figura 4. Modelo simplificado de um olho míope.

8. Qual é a idéia do seu grupo? Inclua desenhos que o grupo elaborou que sejam diferentes do seu.

9. Fazendo observações: Seu professor passará os feixes de luz pela lente do olho hipermetrope e pela lente do olho míope, demonstrando onde os raios convergem. Se após a realização da demonstração, suas idéias não estiverem de acordo com o observado resolva a inconsistência.

Nota para o professor: Na lousa óptica, prenda na região central a folha com o desenho do olho hipermetrope e coloque a lente biconvexa de 6 cm de diâmetro sobre o desenho. Realize esta experiência antes da aula para ter as posições exatas da lente e da posição do desenho do olho.

Faça um esboço no quadro negro mostrando os feixes incidindo no olho hipermetrope e convergindo atrás do olho, fazendo um pontilhado nos feixes que estão atrás do olho, enfatizando que a luz não chega nesta região e que esta representação indica onde seria formada a imagem. Peça para os alunos compararem a representação da figura-1 com a da figura-2.

Repita estes procedimentos para demonstrar o que acontece com os feixes de luz que incidem num olho míope, como representado na figura-3.

Ao realizar a demonstração, enfatize que a lente utilizada nos três modelos é a mesma e conseqüentemente a distância focal é a mesma e pergunte: Se a lente não esta sendo alterada, como é o olho de uma pessoa com hipermetropia em relação a um olho normal? E como é o olho de uma pessoa míope?

10. Fazendo sentido: Qual é o tipo de lente corretiva que poderia ajudar uma pessoa com hipermetropia? E em uma pessoa com miopia? Explique. Desenhe um esquema mostrando como utilizar as lentes corretivas?

APÊNDICE B – Práticas de Ótica Geométrica

Prática-1: Luz e Sombra, Método de Paralaxe e Traçado de Raios.

Adaptado de Physics by Inquiry v.1 (28)

Em cada experimento, faça uma previsão do fenômeno físico e anote suas idéias. Feito isto verifique experimentalmente e discuta com o grupo visando esclarecer eventuais discrepâncias antes de continuar.

Mesmo nos casos em que suas previsões estiverem inconsistentes com o experimento, não apaguem a previsão errada, mas sim compare com o resultado experimental, escrevendo uma breve conclusão, a fim de obter uma aprendizagem mais significativa. Qualquer dúvida consulte um instrutor.

Parte A – Luz e sombra

Material por grupo

Uma máscara de papel cartão preto (18 cm x 18 cm) com furo circular de 1,5 cm de diâmetro, uma máscara de papel cartão (18 cm x 18 cm) com furo triangular de ~1,5 cm de lado, duas fontes de luz pequenas, uma fonte de luz fluorescente de aproximadamente 10 cm de comprimento e 1 anteparo 20 cm x 30 cm. Uma câmara escura para cada dois grupos.

I: Luz - previsões qualitativas

A Figura-1 mostrando uma pequena lâmpada, uma máscara de papel cartão com um buraco circular de aproximadamente 1,5 cm de diâmetro e um anteparo.

A) Mantendo uma distância de aproximadamente 10 cm entre o anteparo e a máscara e de aproximadamente 20 cm entre a lâmpada e a máscara com o buraco circular, preveja o que você verá na tela quando a lâmpada for acesa. Explique com palavras e com um esboço.

- Descreva como movimentando a lâmpada para cima, poderia afetar o que você vê na tela. Explique com palavras e faça um esboço.
- Realize o experimento. A previsão está de acordo com sua observação? Justifique por escrito confrontando o resultado do experimento com sua previsão.

Figura 1. Preveja o que aparecerá no anteparo ao acender a lâmpada pequena.

B) Descreva (*sem realizar o experimento*) como cada uma das seguintes mudanças poderia afetar o que você vê no anteparo. Explique seu raciocínio e inclua esboços que resumam suas previsões.

- Se a máscara for substituída por outra com um buraco triangular.
- Com a disposição da montagem do item (A), o que ocorreria se você movesse a lâmpada para mais distante da máscara.
- Realize o experimento e compare o resultado com sua previsão.

Obs: Mantenha aproximadamente as mesmas distâncias descritas acima.

A Figura-2 mostra uma máscara com um **buraco circular** que está entre um anteparo e duas pequenas lâmpadas, uma mais acima e a outra mais abaixo.

C) Prediga (*sem realizar o experimento*) o que você verá no anteparo. Em seguida realize os experimento e cheque sua previsão. *Obs: Mantenha aproximadamente as mesmas distâncias descritas no item (A).*

- Faça um esboço da trajetória da luz que sai de cada lâmpada e chega ao anteparo. Utilize uma régua.
- Ao movimentar ligeiramente a lâmpada superior para cima, o que você vê na tela?

Figura 2. Preveja o que aparecerá no anteparo ao acender duas lâmpadas pequenas.

D) O que suas observações sugerem a respeito da trajetória da luz da lâmpada até o anteparo? Escreva um parágrafo que explique suas observações com base no conceito de que *a luz caminha em linha reta*.

E) Imagine que você tivesse varias lâmpadas alinhadas. O que você esperaria ver no anteparo?

F) Prediga o que você veria no anteparo se utilizasse uma lâmpada fluorescente de luminária em vez da pequena lâmpada, conforme a Figura-3.

- Mantendo uma distância de aproximadamente 10 cm entre o anteparo e a máscara e de aproximadamente 40 cm entre a lâmpada e a máscara com o buraco triangular, realize o experimento e cheque sua previsão.

Figura 3. Preveja o que aparecerá no anteparo ao acender a lâmpada extensa.

- Se sua previsão estiver incorreta, justifique por escrito o resultado confrontando o experimento com suas previsões.

G) Utilizando a mesma montagem do item (F) posicione uma de suas mãos **em frente à lâmpada** e movimente-a para cima e para baixo. **Explique** o que você vê no anteparo.

H) Como podemos classificar os dois tipos de fontes luminosas utilizadas até agora?

II: Luz - previsões quantitativas

A) A Figura-4 abaixo mostra uma pequena lâmpada, uma máscara com um furo circular de 1,5 cm de diâmetro e um anteparo. Qual o tamanho da região iluminada no anteparo. *Obs.: Trate a lâmpada como uma fonte de luz puntiforme, ou seja, como se toda a luz saísse de um único ponto.*

- Como o comprimento vertical da região iluminada mudaria se o diâmetro do furo fosse reduzido à metade? Em particular, a região iluminada passaria a ter a metade da altura?

B) Suponha que esta lâmpada foi substituída por uma **lâmpada extensa** de 10 cm (lâmpada fluorescente de luminária), como mostrada na Figura-5.

- Calcule o comprimento vertical da área iluminada no anteparo.
- Se o diâmetro do furo for reduzido à metade, a região iluminada passaria a ter a metade da altura? Explique.
- Cheque suas previsões dos itens (A) e (B). Se quaisquer de suas previsões estiveram incorretas, contraste com o resultado experimental e resolva a inconsistência.

Figura 4. Configuração para calcular o diâmetro da região iluminada ao acender a lâmpada puntiforme.

Figura 5. Configuração para calcular o diâmetro da região iluminada ao acender a lâmpada fluorescente.

C) Prediga a altura aproximada e a forma da região iluminada no anteparo quando o furo torna-se muito pequeno, do tamanho de um furo de agulha. Neste limite, como seria o tamanho e a forma da região iluminada, comparado com o caso da figura 5.

III: Câmara escura

Material por grupo

Uma câmera escura.

Coloque a cabeça na abertura maior da câmara e mire para objetos luminosos como, por exemplo, uma lâmpada de luminária acesa. Como fica disposta a imagem formada que você está observando? Analise e compare, por escrito, suas observações com a previsão do item C da Parte II. A imagem formada é direita ou invertida?

Parte B – Método de Paralaxe

Material por grupo

Dois lápis, papel sulfite, papelão 30 cm x 21 cm, 1 parafuso de aproximadamente 5 cm, 2 alfinetes de cabeça colorido, 1 espelho plano 3 cm x 3 cm.

I: Método do lápis

A) Este experimento deve ser realizado em dupla. O estudante A segura dois lápis a frente do estudante B (observador). A distância entre os dois estudantes deve ser de ~ 2m e os lápis devem estar a altura dos olhos do observador, na vertical e com suas pontas coincidentes (Figura-6).

Então o estudante B fecha um de seus olhos. O estudante A desloca o lápis de cima 10 cm para frente.

- O estudante B deve mover sua cabeça para a esquerda e para a direita, escrever o que ele observou e responder se as pontas dos lápis continuam uma sobre a outra?

Figura 6. Um membro do grupo deve segurar os lápis na altura do olho do seu parceiro.

B) O estudante B fecha um dos olhos e mova sua cabeça de tal maneira que o lápis apareça diretamente sobre o outro.

- Se você mover sua cabeça para a direita, o lápis de cima parece estar à direita ou à esquerda do lápis de baixo?
- Se você mover sua cabeça para a esquerda o lápis de cima parece estar à esquerda ou à direita do lápis de baixo?

C) Peça a seu colega que posicione os dois lápis, exatamente um sobre o outro.

- Como esta mudança afeta o que você observa quando você move sua cabeça para a esquerda e para a direita? Quando você move sua cabeça para a direita e para a esquerda as pontas dos lápis saem uma de cima da outra? Explique.

Nota: Neste experimento, quando as pontas dos lápis não estão exatamente uma sobre a outra, você observou que há uma mudança aparente na localização dos dois lápis quando você move sua cabeça de um lado para o outro.

Porém, quando as pontas estão exatamente uma sobre a outra e você move sua cabeça para a esquerda e para a direita, as pontas não saem uma de cima da outra.

Este método (denominado de método de paralaxe) permite que você tenha certeza de que um objeto está exatamente sobre o outro.

D) Como deve ser a posição relativa dos dois objetos, entre eles, para você não observar nenhum efeito do método de paralaxe, quando você move sua cabeça de um lado para o outro?

II: Espelho Plano: Aplicação do Método de Paralaxe

Obtenha dois parafusos idênticos, um pedaço de papelão, uma folha de papel quadriculado e um espelho que seja menor que os parafusos.

Prenda uma folha de papel quadriculado num papelão e disponha um espelho no centro do papel, coloque um dos parafusos de pé a 10cm à frente do espelho. Nós chamaremos este parafuso de parafuso objeto. Veja a Figura-7.

Figura 7. Objeto disposto em frente de um espelho plano.

A) Olhe para a imagem do parafuso. A imagem que você vê, está na frente, atrás ou na superfície do espelho?

B) Posicione sua cabeça de tal maneira que você possa ver a imagem do parafuso. Coloque um segundo parafuso sobre esta imagem, Aplique o método de paralaxe, para localizar com exatidão a imagem do parafuso. Marque esta localização no papel.

- Mova sua cabeça para uma nova posição. Há uma única localização onde todos os observadores poderão concordar que a imagem está localizada (considerando que eles podem ver uma imagem)?

Parte C – Traçado de Raios e Espelho Plano

Parte-I

A) Prenda uma folha de papel sulfite num papelão. Posicione um parafuso numa extremidade do papel. O parafuso não deve ser removido até que todos os procedimentos estejam concluídos. Marque a posição do parafuso. Veja a Figura-8.

Figura 8. Esquema para aprender a utilizar o traçado de raios.

Coloque sua cabeça sobre o nível da mesa perto da outra extremidade do papelão em frente ao parafuso. Feche um de seus olhos e olhe para o parafuso, em seguida fixe dois alfinetes na região central do papelão de modo que eles estejam alinhados com o parafuso.

Os dois alfinetes determinam sua linha de visão do parafuso.

- Use uma régua para traçar sua linha de visão, que sai dos alfinetes e chega ao seu olho. Desenhe a posição de seu olho na folha.

- Refaça o procedimento acima e marque a linha de visão para outros dois pontos um mais à esquerda e o outro à direita, então, remova o parafuso.

- Como você pode utilizar a linha de visão que você traçou para determinar onde estava localizado o parafuso?

- Qual o menor número de linhas de visão necessária para determinar a posição de um objeto?

B) Prenda uma nova folha de papel sulfite no papelão. Mantenha o espelho a aproximadamente 15 cm da extremidade da folha. Coloque o parafuso a aproximadamente 5cm do espelho, marque a posição do parafuso e a posição do espelho. Veja a Figura-9.

Cuidado para não retirar o espelho, nem o parafuso de suas posições originais.

Posicione seu olho próximo da superfície da mesa e **olhe para a imagem** do parafuso.

Fixe dois alfinetes sobre o papelão de modo que, pela sua posição, eles pareçam estar alinhados com a imagem do parafuso.

Figura 9. Parafuso disposto em frente de um espelho plano e 2 alfinetes alinhados com a imagem do parafuso.

Utilize uma régua para traçar sua linha de visão da imagem, que sai dos alfinetes e chega ao seu olho. Desenhe a posição de seu olho na folha de sulfite.

Repita o procedimento acima para mais duas diferentes posições de seu olho (a esquerda e a direita, veja a figura), em seguida remova o espelho e o parafuso.

- Como você pode utilizar a linha de visão que você traçou para determinar onde estava localizado o parafuso?

- Qual o menor número de linhas de visão necessária para determinar a posição de um objeto?

C) Baseado nos raios das linhas de visão que você traçou para a imagem do parafuso no item (B) desta parte, **trace uma flecha** em cada segmento de reta para mostrar a direção da luz desde o parafuso objeto até seus olhos.

Nota para o aluno: Para determinar a localização de uma imagem pelo traçado de raios, traçam-se no mínimo dois raios. Usando-se uma linha contínua com uma flecha ($\longrightarrow$) para representar o caminho do raio incidente. Usa-se, por convenção, uma linha tracejada (----) para representar o prolongamento de um raio de luz vindo do espelho para indicar o caminho da luz refletida.

D) Utilize o traçado de raios para encontrar a localização da imagem do objeto representado na Figura-10. Use uma nova folha de papel. Mostre a localização da imagem no seu diagrama.

Figura 10. Objeto próximo a um espelho plano.

Prática-2: Refração, Reflexão Total e Índice de Refração

Parte A – Refração

I: Recipiente Cúbico com água

A) A Figura-1 representa a seção transversal da luz de um laser incidindo em um recipiente cúbico com água. Obs.: *Perpendicular a interface ar-água, há uma semi-reta pontilhada denominada reta normal (N).*

Como você acha que o feixe se comportará ao incidir com um ângulo, e ao incidir pela lateral, como mostra a Figura-2 e a Figura-3 respectivamente? Desenhe a continuação destes raios, dentro do recipiente.

Figura 1. Raio de luz incidindo perpendicularmente do ar para a água.

Figura 2. Raio de luz incidindo com um ângulo do ar para a água

Figura 3. Raio de luz incidindo perpendicularmente do ar para o recipiente e para a água.

B) Realize o experimento. Numa folha separada de papel **desenhe** e **explique** o que você observou. Suas previsões estão de acordo com suas observações? **Qual a explicação deste fenômeno?** Discuta sua resposta com o grupo.

II: Bloco semicircular

A) A Figura-4 mostra um feixe de luz passando pela parte central da face plana de um bloco semicircular. Como você acha que o feixe se comportará ao incidir na face plana com um ângulo, como exposto na Figura-5? E ao incidir mais à esquerda na face plana como mostrado na Figura-6? Desenhe a continuação destes raios, dentro do semicírculo e fora do outro lado.

Figura 4. Raio de luz atravessando a face plana de um bloco semicircular de acrílico.

Figura 5. Raio de luz incidindo com um ângulo na face plana de um bloco semicircular de acrílico.

Figura 6. Esboço mostrando a linha normal, o ângulo de incidência e a direção inicial do feixe de luz.

B) Realize o experimento. Numa folha separada de papel desenhe o que você observou. Suas previsões estão de acordo com suas observações?

Obs.: O termo ângulo de incidência é usado quando se refere ao ângulo entre o raio de luz incidente e a normal. O termo ângulo de refração é usado para o ângulo entre o raio de luz refratado e a normal.

- Descreva o que ocorre com o raio de luz refratado em relação à reta normal (N). Como é a reta normal a superfície circular?

Parte B – Reflexão Total e Índice de Refração

Com um bloco semicircular, uma fonte de luz retilínea e um transferidor é possível examinar a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de refração da luz passando de um material para outro.

A Figura 7 ilustra uma forma de utilização da fonte de luz e do bloco semicircular: o raio de luz deve incidir na face curva, orientado para o centro **O** da face plana. Nesta configuração o raio incidente coincide com a normal à superfície circular, pois a normal também passa por **O**.

A) Descreva em qual superfície do bloco a luz sofre desvio. Explique a vantagem e/ou facilidade desse procedimento para o estudo da refração da luz.

B) Descreva e explique o que acontece quando você vai aumentando gradativamente o ângulo de incidência (θ_i). O que você entende por ângulo limite? Meça o valor deste ângulo.

Figura 7. Raio de luz incidindo no ponto central “O” após atravessar a face semicircular de um bloco de acrílico.

C) Coloque o bloco semicircular sobre uma folha de papel e desenhe seu contorno no papel. Incida o raio de luz em **O** (veja Figura 7) com um determinado ângulo θ_i (meça este valor com um transferidor), meça o correspondente ângulo de refração θ_r na saída do raio de luz na face plana da superfície circular. A razão: $\sin(\theta_r)/\sin(\theta_i)$ dá o valor do índice de refração do acrílico ($n_{\text{acrílico}}$) em relação ao índice de refração do ar ($n_{\text{ar}}=1$). Calcule este valor para três ângulos de incidência diferentes e obtenha o valor médio do índice de refração do acrílico. Para facilitar suas medidas marque a trajetória dos raios no papel com a ajuda de alfinetes. Faça os desenhos e os cálculos.

Parte C – Refração e Formação de Imagem

A montagem da Figura 8 pode ser utilizada para determinar a posição da imagem de um objeto **b**.

A) Prenda uma folha de sulfite em um papelão, coloque um bloco de acrílico sobre a folha e desenhe seu contorno. Fixe um pequeno alfinete na posição **b** a 4 cm do bloco de acrílico, em seguida olhe através do bloco e fixe o alfinete **a**, agora fixe os alfinetes **c** e **d**, veja Figura-8. Repita este procedimento para fixar os alfinetes **a'**, **c'** e **d'**. Incida um feixe de luz laser rasante ao papel na direção $\overline{ab}$ e observe a trajetória dos raios. Agora incida a luz do outro lado do bloco, na direção $\overline{cd}$ e observe o princípio da reversibilidade dos raios. Descreva este princípio.

B) Com outro alfinete, utilize o método de paralaxe para determinar a posição da imagem de **b**, vista através do bloco. Marque esta posição. Retire o bloco e trace suas linhas de visão e determine a posição da imagem por meio do prolongamento dos raios emergentes. *Obs.: utilize linhas pontilhadas para desenhar o prolongamento dos raios.* Esta posição coincide com a determinada pelo método de paralaxe? Explique sua resposta.

Figura 8. Esquema para determinar a posição da imagem de um alfinete formada por um paralelepípedo de vidro transparente.

Prática-3: Lentes Delgadas Convexas e Côncavas

Adaptado de Tutorials in Physics (30)

I: Lentes Convexas (convergentes)

Lentes convexas têm pelo menos uma das suas superfícies curvada para fora e é mais fina nas bordas que no meio.

A Figura 1 mostra uma lente convexa e um tracejado que representa o *eixo principal* da lente. O centro da lente é chamado de *centro óptico* da lente.

A) Disponha de um trilho óptico, uma lente convexa e um pino de pesquisa. Monte a lente no trilho e olhe para um objeto distante (uma pequena lâmpada), através da lente, de modo que você veja uma imagem praticamente pontual deste objeto.

- A imagem formada pela lente está, em frente, atrás, ou na superfície da lente?
- Com o auxílio do pino de pesquisa, use o método de paralaxe para determinar a distância entre a imagem e a lente. **Anote este valor.** Em comparação com o objeto a imagem esta longe ou próximo da lente?

Figura 1. Esquema mostrando uma lente convexa, o eixo principal e o centro óptico de uma lente delgada biconvexa.

- Estime o valor da distância do objeto (lâmpada) até a lente e compare com o valor da distância da imagem até a lente.

B) Considere o pequeno objeto luminoso que você observou no item (A). Ele está sobre o **eixo principal** da lente. Faça um esquema que mostre: o objeto, a lente e a imagem, respeitando as dimensões entre as posições do objeto, lente e imagem que você observou. Esboce alguns raios desta fonte de luz pontual que alcança diferentes pontos da lente. Utilize uma régua. Como esses raios estão orientados uns em relação aos outros, e com o eixo principal? Explique. E se este ponto estivesse muito longe (no infinito) como os raios que chegam à lente (que estão próximos da lente) estariam orientados uns com os outros e com o eixo principal?

- Fundamentado em sua observação no item A (objeto distante), mostre a continuidade de cada um destes raios passando pela lente e fora dela. Indique no seu diagrama onde os raios convergem.

Nota: A refração ocorre nas duas superfícies da lente. Entretanto, num diagrama de raios para uma lente delgada, é costumeiro desenhar raios como se toda refração ocorresse no centro da lente.

O ponto de interseção entre o eixo principal e a imagem de um objeto no infinito é chamado de **ponto focal**. A distância entre o centro óptico da lente e o ponto focal é denominada **comprimento focal**, conforme ilustrado na Figura 2. *Obs. Você mediu esta distância no item (A).*

Figura 2. Esquema mostrando o foco de uma lente biconvexa.

C) Se o objeto estiver sobre o foco de uma lente convexa, o que acontece com a continuação dos raios de luz que parte do foco e chegam até a lente? *Dica: lembre do princípio da reversibilidade da luz.*

- Verifique sua resposta com o professor antes de continuar.

II: Investigação de Raios e Lentes Convergentes

Adaptado de Physics by Inquiry v.2 (29)

O diagrama da Figura 3 mostra vários raios de luz da ponta de um lápis e que alcançam uma lente biconvexa. Reproduza esta figura na sua folha de resposta para desenhar, em um único diagrama, a continuação dos raios do lado direito da lente. Para desenhar a continuação de cada raio, considere os itens abaixo.

Figura 3. Esquema para desenhar, em um único diagrama, a continuação dos raios do lado direito da lente.

A) Considere o raio que é paralelo ao eixo principal. Explique como você pode usar suas observações da seção I para desenhar a continuação desse raio no lado direito da lente. Desenhe este raio no diagrama.

B) Considere o raio que passa pelo ponto focal da lente. Explique como você usaria suas respostas da parte C da seção I para desenhar a continuação daquele raio no lado direito da lente. Desenhe este raio no diagrama.

- Como pode você usar esses dois raios para determinar a localização da imagem da borracha? No diagrama, identifique a localização da imagem.

Considere o raio de luz que parte da borracha e incide na lente, perto do seu centro, onde os lados da lente estão quase paralelos. Usando a localização da imagem como um guia, desenhe a continuação deste raio no lado direito da lente.

- Com suas palavras, descreva o caminho de um raio que passa através do centro da lente.

C) Desenhe a continuação, através da lente, dos três raios que restaram no diagrama.

Os três primeiros raios que você desenhou anteriormente são chamados **raios principais**, e eles são úteis para determinar a localização da imagem. Os raios principais são somente alguns dos infinitos raios que podemos desenhar os quais tocam um ponto do objeto.

D) Qual é a posição do lápis em relação ao ponto focal da lente? A imagem que você desenhou esta invertida ou direita?

III: Formação de Imagens em Lentes Convergentes

A Figura 4 mostra a montagem de um trilho óptico com uma lâmpada dicróica, uma seta, uma lente convergente e um anteparo.

A) Para cada um dos casos abaixo, **prediga com um diagrama de raios** se a imagem é: invertida ou direita; maior menor ou do mesmo tamanho do objeto.

a-) objeto situado a uma distância correspondente a duas vezes o foco ($2f$).

b-) objeto situado a uma distância correspondente a três vezes o foco ($3f$).

Figura 4. Esquema para aplicação dos raios principais.

c-) objeto situado a uma distância correspondente a 1,5 vezes o foco ($1,5f$).

Obs.: a distância focal você mediu no item (A) da seção I.

B) Obtenha o material necessário e cheque suas previsões. Registre suas observações e para cada um dos casos, compare com suas previsões.

C) Em quais dos casos do item (A), a imagem é real? Justifique.

Nota para o aluno: Numa imagem real, a energia luminosa passa realmente pelo ponto imagem, ou seja, a imagem é formada pelos raios de luz que convergem para um ponto e estas imagens podem ser projetadas num anteparo.

D) Com a mesma montagem da Figura-4.

- O que acontece com a imagem quando a distância da lente a seta é menor que a distância focal da lente? A imagem é direita ou invertida?
- A imagem é maior ou menor que o objeto?
- Qual está mais distante de você: a imagem ou o objeto?
- Esta imagem é real ou virtual?
- Uma lente convergente nesta posição é utilizada para leitura quando as letras são? E este instrumento óptico é chamado de?

E) Desenhe um diagrama de raios, usando os três raios principais para determinar a localização da imagem que você observou acima. Seu diagrama não precisa ser desenhado exatamente em escala real, mas deve mostrar a localização do objeto relativo ao observador, à lente e seus pontos focais.

- Baseando-se em seu diagrama de raios, o que está mais distante do observador: a imagem ou o objeto?

F) Faça uma comparação entre as imagens obtidas pelas configurações do item (A) e quando à distância da lente a seta é menor que a distância focal (D). Qual é o tipo de imagem em cada caso (real ou virtual)? Discuta a relação entre posição do objeto, foco e posição da imagem para este tipo de lente.

Nota para o aluno: Numa imagem virtual, a luz comporta-se como se divergisse do ponto imagem, sem, entretanto, passar por esse ponto. Estes tipos de imagens não podem ser projetadas num anteparo.

G) Quais são as características de uma imagem real? Ela é sempre direita ou é sempre invertida? Ela é sempre maior ou menor que o objeto? Explique.

II: Lentes Côncavas (divergentes)

Adaptado de Physics by Inquiry v.2 (29)

Lentes divergentes têm pelo menos uma das suas superfícies curvada para dentro e é mais fina no meio do que nas bordas.

A) Monte num trilho óptico uma seta e uma lente côncava, como mostrada na Figura 5. Olhe para a seta através da lente.

Observe como muda a imagem ao movimentar a lente aproximando-a e afastando-a da seta.

Figura 5. Esquema para a montagem do experimento com lente divergente.

Existe uma posição em que você pode colocar a lente para que a seta pareça estar: (i) invertida; (ii) maior do que o objeto; (iii) do mesmo tamanho do que o objeto. Se sim explique.

- Concluindo suas observações: este tipo de lente forma: (a) imagem direita ou invertida? (b) imagem menor, maior ou do mesmo tamanho que realmente é?

B) Monte num trilho óptico uma lente côncava e um pino de pesquisa. Olhe para um objeto (lâmpada fluorescente) “no infinito” através da lente.

- (i) a imagem formada pela lente está do mesmo lado que o objeto ou do outro lado da lente?
- (ii) a imagem parece estar maior ou menor do que o objeto?
- (iii) com o auxílio do pino de pesquisa, use o método de paralaxe para determinar a distância entre a imagem e a lente. *Obs.: Olhe para o pino de pesquisa diretamente, por cima da lente.* Quando olhamos para um objeto muito distante (no infinito) em que posição é formada a imagem? Anote o valor desta distância.
- (iv) seria possível localizar a imagem usando um anteparo, como feito para lente convexa? Verifique.
- (v) a imagem é real ou virtual? A imagem formada por uma lente divergente pode ser projetada em um anteparo? Explique.

C) Compare o comportamento da lente côncava e convexa. Dentro de suas particularidades:

- (i) É possível para os dois tipos de lentes formarem imagens reais e virtuais?
- (ii) É possível para os dois tipos de lentes formarem imagens direitas e invertidas?
- (iii) Os dois tipos de lente formam imagens do mesmo lado que o objeto e do outro lado da lente? Explique.

D) A Figura 6 mostra a vista lateral de uma lente côncava e um lápis. Utilizando os raios principais para localizar a imagem? Descreva a natureza da imagem?

Figura 6. Vista lateral de uma lente côncava e um lápis. Utilize os raios principais para localizar a imagem e descrever sua natureza.

APÊNDICE C – Orientação para o Professor

Atualmente, muitos autores denominam como **Aprendizagem Ativa** os métodos que requerem real engajamento dos alunos durante o processo de ensino/aprendizagem. As pesquisas indicam que tal abordagem tem demonstrado um aumento da compreensão dos estudantes dos conceitos básicos de Física (23-32). Nesta nova estratégia, os estudantes são levados a construir seu conhecimento dos conceitos de Física por observação direta do mundo real. Isto é feito por meio de uma sequência de aprendizagem que inclui previsões, discussões em pequenos grupos, observações e comparações dos resultados observados com as previsões. Deste modo, os estudantes tornam-se atentos às diferenças entre suas crenças que eles trazem para a sala de aula, e as leis físicas. O objetivo desta abordagem é reproduzir o processo científico na sala de aula e ajudar no desenvolvimento de habilidades de raciocínio físico.

Obviamente as atividades investigativas demandam bastante tempo e por isso tivemos que reduzir um pouco o conteúdo do curso. Por outro lado, deve-se considerar que as práticas investigativas devem ajudar o aprendizado dos alunos posteriormente nas aulas teóricas.

Uma das preocupações em desenvolvermos os roteiros experimentais e de demonstração é que os professores tenham condições de utilizá-los em escolas que possuem laboratório e nas que não possuem. Além disso, no ensino médio o professor pode optar pelas práticas e demonstrações que julgar mais conveniente para intercalar as aulas teóricas.

Os experimentos sugeridos para as aulas de laboratório, manipulados pelos estudantes, podem ser realizados através do trilho óptico e de materiais de fácil aquisição. Neste “manual” descrevemos os materiais utilizados, sugestões de outros materiais que também são de fácil aquisição bem como uma orientação sobre a utilização dos instrumentos e dos roteiros. Descrevemos também as dificuldades apresentadas pelos estudantes ao utilizarem o material.

O tempo estimado para a realização de cada uma das práticas é de 4 horas (na universidade) e de 6 horas (no ensino médio). Geralmente na graduação um técnico organiza as bancadas com todos os equipamentos antes das aulas e ao final ele guarda o material, assim, às 4h são dedicadas exclusivamente a experimentação. Já no ensino médio o professor só distribui o material após a troca de aula e os alunos juntam as carteiras para formar a bancada e ao final da aula o professor deve reservar um tempo para recolher o material e organizar as carteiras, assim é despendido um tempo maior do que na graduação.

A seguir descrevemos os instrumentos necessários por grupo, para a realização das três atividades.

Prática-1: Luz e Sombras, Método de Paralaxe e Traçado de Raios.

Parte-A Luz e Sombras

Três máscaras feitas de papel cartão, duas fontes de luz miniaturas, uma fonte de luz fluorescente pequena, uma régua de 30 cm, um anteparo, quatro prendedores de roupa e uma câmara escura.

Máscaras: três máscaras (~ 18cm x 18cm) uma com furo circular de 1,5cm de diâmetro, uma com furo circular de 0,75cm de diâmetro e outra com furo triangular de 1cm de base e 1cm de altura, para sua construção sugerimos o uso de papel cartão preto (Figura-1). Os furos circulares foram feitos com uma matriz de pregar ilhós, que pode ser encontrada em lojas de aviamentos para costura. Todavia, podem ser feito com uma tesoura;

Fontes de luz: Duas lâmpadas miniatura, com filamento de ~ 2 mm e 0,8 W de potência. Dependendo da infra-estrutura da escola o professor precisa escolher entre lâmpadas a pilha (lanternas pequenas) ou ligadas à tomada. A desvantagem das fontes a pilha é que elas precisam ser substituídas periodicamente. Para a opção da tomada, pode-se utilizar um adaptador de corrente alternada / corrente contínua para conectar os fios das lâmpadas (por exemplo: modelo: RW 900; INPUT: AC 220 V – 50/60 Hz; OUTPUT: DC 10 V – 850 mA). Para acenda uma lâmpada por vez, sem a necessidade de emendar fios durante as atividades, construímos um suporte com madeira e dois pares de conector RCA, encontrado em qualquer loja de materiais eletrônicos ou loja de som (Figura-2), todavia o professor pode usar sua criatividade para adaptar outro tipo de conector ou chave liga-desliga;

Figura 1. Máscaras com furo circular e triangular.

Figura 2. Adaptador de corrente alternada / corrente contínua com as fontes de luz pontual.

Uma lâmpada fluorescente de luminária de mesa (~12 cm de comprimento), uma máscara com uma abertura retangular (10 cm de altura e 1 cm de largura) para direcionar a luz e diminuir a luminosidade do ambiente, um suporte para lâmpada fluorescente com reator convencional de uso integrado (HELFONT; modelo: CS 0926 PH; 1 x 7W x 9W x 11W; 220V – 60Hz), um interruptor, 1m de cabo (nº 14) e um plugue (Figura-3). Ao invés deste aparato pode-se utilizar uma pequena luminária de lâmpada fluorescente. No entanto, para que a qualidade do experimento não fique prejudicada, deve-se utilizar uma máscara (retângulo feito com papel cartão preto) para cobrir metade da lâmpada, pois geralmente o “filamento” destas lâmpadas é duplo, formando duas imagens que se sobrepõem parcialmente no anteparo, dificultando a observação feita pelos estudantes;

Figura 3. Aparato com a lâmpada fluorescente (fonte de luz extensa).

Figura 4. Prendedores para fixar o anteparo e as máscaras.

Figura 5. Câmara escura.

Prendedores de roupa: são necessários quatro prendedores de roupa para manter as máscaras e o anteparo na vertical (Figura 4);

Anteparo: como anteparo foi utilizado uma folha de sulfite colada em um papelão retangular do tamanho da folha;

Câmara escura (Figura 5): A câmara escura pode ser construída utilizando diversos tipos de materiais de baixo custo. A que utilizamos foi composta por um lixinho de madeira rústico de escritório, alguns pedaços de papelão, 12cm x12cm de papel vegetal e um saco de lixo preto. Com o papelão recortou-se um fundo falso para o lixinho a uns 10 cm do fundo do lixinho. Neste fundo falso recortamos uma janela de 10cm x10cm que deve ser recoberta com o papel vegetal. Feito isto, encaixamos o fundo falso no lixinho e fizemos um orifício no centro do fundo da câmara escura. Com fita adesiva prendemos o saco de lixo preto na lateral de forma a fazer uma cobertura na câmara como um todo (Figura 6).

Figura-6: Esquema para a montagem da câmara escura.

Parte-B Método de Paralaxe

Dois lápis, uma folha de papel quadriculado, dois parafusos, um espelho plano com suporte.

Lápis: dois idênticos (ou duas canetas idênticas), utilizados para a realização do método de paralaxe. Neste experimento, quando as pontas dos lápis não estão exatamente uma sobre a outra, você observou que há uma mudança aparente na localização dos dois lápis quando você move sua cabeça de um lado para o outro.

Porém, quando as pontas estão exatamente uma sobre a outra e você move sua cabeça para a esquerda e para a direita, as pontas não saem uma de cima da outra. Este método (denominado de método de paralaxe) permite que você tenha certeza de que um objeto está exatamente sobre o outro. Este experimento deve ser realizado em dupla;

Folha de papel quadriculado: será utilizada uma folha (21cm x 30cm). O papel quadriculado ajuda os estudantes a perceberem que as distâncias do parafuso (objeto) e do parafuso (de pesquisa) que está sobre a imagem são equidistantes do espelho;

Parafusos: são necessários dois parafusos idênticos, por volta de 5cm de comprimento e deve ter sua “cabeça” achatada, para que ele fique na vertical sobre o papel quadriculado. Após os conceitos envolvidos no método de paralaxe ter sido seguramente desenvolvido, ele é aplicado para encontrar a posição da imagem de um parafuso colocado na frente de um espelho plano, veja Figura 7.

Espelho plano: um espelho plano quadrado de ~ 3cm x 3cm e um suporte de madeira para manter o espelho na vertical. As dimensões do espelho não precisa ser necessariamente estas, mas é fundamental de o espelho seja menor que os parafusos. O suporte de madeira pode ser substituído por massa de modelar. O espelho deve ser colocado no meio da folha de papel quadriculado e o parafuso (objeto) deve ser colocado ~10 quadradinhos na frente do espelho. O aluno deve olhar para a **imagem** do parafuso e predizer onde se encontra a imagem

(na frente do espelho, na superfície ou atrás) e através do método de paralaxe colocar o outro parafuso (de pesquisa) sobre a imagem.

Figura 7. Vista superior da montagem para a aplicação do método de paralaxe.

Parte-C Traçado de Raios

Dois alfinetes de cabeça colorido, duas folhas de sulfite, um retângulo de papelão (21cm x 30 cm), um parafuso, uma régua de 30 cm, um espelho plano com suporte de madeira.

Sulfite: duas folhas, uma utilizada para determinar a posição de um objeto (parafuso) e outra para determinar a posição da imagem de um parafuso formado por um espelho plano.

Papelão: o sulfite deve ser preso num retângulo de papelão de ~ 21cm x 30 cm, ele serve para fixar os alfinetes.

Parafuso: é utilizado um parafuso de ~ 5 cm com sua “cabeça” achatada, para que ele fique na vertical e deve ser posicionado numa das extremidades do papel.

Alfinetes: O aluno deve fechar um dos olhos e com o outro olha para o parafuso e fixar os dois alfinetes na região central do papelão (Figura abaixo) de modo que eles estejam alinhados com o parafuso. Os dois alfinetes determinam a linha de visão do parafuso. Com a régua o aluno deve traçar uma semi-reta que representa o raio de luz que parte do parafuso e chega a seu olho. Após determinar o traçado de raios central, deve-se repetir o procedimento anterior para o lado direito e para o lado esquerdo da folha (Figura 8).

Espelho plano: um espelho plano quadrado de ~ 3 cm x 3 cm e um suporte de madeira para manter o espelho na vertical. Pode-se utilizar massa de modelar para manter o espelho na vertical.

O prolongamento das linhas de visão vão se cruzar na posição do parafuso (objeto). E o menor número de linhas são duas (Figura 9).

Figura 8. O prolongamento das linhas de visão vão se cruzar na posição do parafuso (objeto).

Figura 9. O prolongamento das linhas de visão vão se cruzar na posição da imagem do parafuso.

Prática-2: Refração

Um recipiente transparente com a forma de um paralelepípedo; um apontador laser; pó para refresco de pigmento amarelo; água; papel para transparência; um bloco semicircular transparente de acrílico; um transferidor; um bloco retangular transparente de acrílico e oito alfinetes de cabeça colorida.

Recipiente transparente: pode-se utilizar um pote transparente em forma de um paralelepípedo encontrado em supermercado ou lojas de \$1,99 (Figura 10);

Para uma boa observação do fenômeno da refração, colamos um retângulo do papel para transparência com 5 cm de altura no recipiente e diluímos uma pequena quantidade do refresco na água (Figura 11). O papel para transparência e o pó do refresco reflete a luz permitindo que o estudante visualize com facilidade a refração.

O laser deve ser apontado de tal maneira que o feixe de luz incida na transparência e a percorra até atingir a água;

Figura 10. Esquema para o experimento da refração.

Figura 11. Foto do aparato experimental mostrando o fenômeno da refração.

A atividade se inicia mostrando o que acontece quando o laser incide perpendicularmente a superfície da água. Depois os estudantes prevêm o que acontece se

inclinando o apontador laser. Somente depois de responderem a previsão é que eles realizam o experimento e discutem o resultado em grupo e comparam a previsão com o resultado por eles obtido.

Com o bloco de acrílico semicircular transparente pode-se aprofundar as idéias sobre a refração e aproveitar para calcular o índice de refração do acrílico (Figura-12). Este bloco pode ser substituído por um recipiente transparente utilizados para por água e alimento nas gaiolas para pássaros.

O bloco de acrílico retangular é utilizado para formação da imagem de um alfinete (objeto). Também pode ser substituído por um pote transparente com altura inferior a do alfinete.

Figura 12. Experimento para determinar o índice de refração do acrílico em relação ao ar.

Figura 13. Bloco de acrílico e quatro alfinetes alinhados (de 2 em 2) com a imagem do alfinete branco.

Prática-3: Lentes convexas e côncavas

Parte-A Lentes convexas

O equipamento utilizado foi: uma lente biconvexa de ~ 10cm de distância focal; um trilho óptico; três suportes deslizantes; dois suportes para lentes; um pino de pesquisa; uma lâmpada dicróica com bocal, suporte para o trilho e extensão de 1,5m; um slide com desenho de uma seta na vertical; um suporte para o slide; uma pequena lâmpada de 0,8W e um anteparo.

Dependendo das condições da escola os estudantes podem realizar os experimentos utilizando uma lupa, uma cartolina, uma fita métrica, uma fonte de luz pontual e um anteparo (Figura 14).

Lente convexa: pode-se utilizar uma lupa encontrada em lojas do tipo “multicoisas”.

Cartolina: pode-se traçar uma reta no centro da cartolina para utilizá-la como trilho óptico. Ao invés de traçar a reta, outra opção é fixar uma fita métrica no centro da cartolina, assim as medidas podem ser feitas diretamente com a fita métrica.

Fonte de luz pontual: uma lâmpada miniatura com filamento de ~ 2 mm e 0,8W de potência.

Anteparo: como anteparo pode-se utilizado uma folha de sulfite colada em um papelão retangular do tamanho da folha;

Figura14. Formação de imagem real por meio de uma lente biconvexa.

Parte-B Lentes côncavas

Uma lente biconvexa de 10cm de distância focal; um trilho óptico com cinco suportes deslizantes e com dois suportes para lentes; um pino de pesquisa; uma lâmpada dicrónica com bocal, suporte para o trilho e extensão de 1,5m; um slide com desenho de uma seta na vertical; um suporte para o slide; uma pequena lâmpada de 0,8W; uma lâmpada fluorescente disposta na vertical (1,2m de comprimento); um anteparo e uma lente bicôncava de 10cm de distância focal.

Dependendo das condições da escola os estudantes podem realizar os experimentos utilizando a lente côncava que pode ser encontrada em lojas do tipo “multicoisas”, uma cartolina, uma fita métrica e uma chave de fenda como “*objeto*”, ou qualquer outro objeto de aproximadamente 20 cm de altura veja a Figura 15, a Figura 16 e a Figura 17. Estas figuras mostram como se pode encontrar a imagem virtual pelo método de paralaxe.

Cartolina: pode-se traçar uma reta no centro da cartolina para utilizá-la como trilho óptico. Ao invés de traçar a reta, outra opção é fixar uma fita métrica no centro da cartolina, assim as medidas podem ser feitas diretamente com a fita métrica.

Figura 15. Vista com a cabeça deslocada para a esquerda.

Figura 16. Vista com a cabeça na posição central.

Figura 17. Vista com a cabeça deslocada para a direita.

APÊNDICE D – Lista de Exercícios

Adaptado de Tutorials in introductory physics: homework (46).

LUZ E SOMBRA

1- Uma máscara contendo um buraco na forma de letra L é colocado entre um anteparo e uma pequena lâmpada, como mostrado na Figura 1.

A - No diagrama esboce o que você poderia ver na tela quando a lâmpada é ligada.

B - A pequena lâmpada é substituída por outra contendo um longo filamento, como mostrado na Figura 2. No diagrama esboce o que você poderia ver na tela quando a lâmpada é ligada. A escala de seu esboço deverá estar consistente com sua resposta no item A.

Figura 1. Máscara contendo um buraco na forma de letra L colocada entre um anteparo e uma pequena lâmpada .

Figura 2. Máscara contendo um buraco na forma de letra L colocada entre um anteparo e uma lâmpada extensa.

2- Uma máscara de papel cartão foi cortado na forma de um triângulo. As dimensões do triângulo estão mostradas na Figura 3.

A – Quais são as dimensões e o formato da sombra que será formada num anteparo quando uma pequena lâmpada for ligada. O papel cartão triangular, a lâmpada e o anteparo estão alinhados ao longo de uma linha reta, como mostrado em vista lateral na Figura 4. Explique seu raciocínio.

Figura 3: Máscara triangular.

Figura 4: Configuração para calcular a sombra do triângulo ao acender a lâmpada puntiforme.

B – É possível colocar a lâmpada em outra posição ao longo da linha tracejada para que a sombra seja duas vezes maior do que na parte A? Se sim onde. Se não, porque não?

C – É possível colocar a lâmpada em outra posição ao longo da linha tracejada para que a sombra seja metade do que na parte A? Se sim onde. Se não, porque não?

D – Suponha que a lâmpada foi colocada ao lado da linha e muito distante do triângulo e do anteparo. Qual seria aproximadamente a forma e o tamanho da sombra? Explique. Descreva a luz alcançando o anteparo.

ESPELHO PLANO

1- Como você pôde observar em seus experimentos, a distância da imagem de um objeto a um espelho plano é a mesma do espelho ao objeto. Use a geometria para provar este fato. Sugestão: comece com um diagrama de raios que mostre a localização de uma imagem e observe os triângulos semelhantes. Você deve verificar se é necessário traçar linhas de raios adicionais.

2- Qual é o tamanho mínimo do espelho que você necessita para ver o seu corpo inteiro? Trace um diagrama de raios que sustente a sua resposta. Obs: considere que seus olhos estejam no topo de sua cabeça.

3- Movendo-se para perto e para longe de um espelho plano situado em um laboratório, como muda a imagem do laboratório no espelho? Trace um diagrama de raios que sustente a sua resposta.

4- a) Trace um diagrama de raios para determinar a localização da imagem de cada um dos dois objetos representados na Figura-5.

Figura 5. Diagrama representativo de um espelho com dois objetos.

b) Determine a região na qual você poderia ver e achar as imagens dos dois objetos ao mesmo tempo.

c) Descreva como você poderia utilizar um diagrama de raios para determinar a localização da imagem de um objeto extenso, como um lápis ou um tijolo.

5- A Figura 6 ilustra um lápis colocado em frente de um espelho plano.

a) Encontre a imagem do lápis. Através de diagramas de raios desenhados indique a região onde um observador consegue ver: i) a ponta do lápis ii) a borracha do lápis que é a extremidade do lápis iii) todo o lápis.

Figura 6. Lápis colocado a frente de um espelho plano.

6- Para você ver a reflexão da lâmpada no espelho, a luz deve penetrar em seus olhos após refletir no espelho? Explique sua resposta.

7- A luz pode ser vista após a reflexão no espelho em qualquer direção ou somente numa específica? Explique sua resposta baseado em suas observações.

8- Os diagramas da Figura 7 e da Figura 8 ilustram a reflexão por um espelho plano (a posição e orientação do espelho não são conhecidas). Cada diagrama mostra dois raios refletidos chegando ao olho de um observador. Verifique se a situação ilustrada é possível? Caso afirmativo desenhe a localização do espelho (justifique sua resposta).

Figura 7. Esquema mostrando dois raios de luz refletidos por um espelho plano chegando ao olho de um observador (objeto entre os olhos).

Figura 8. Esquema mostrando dois raios de luz refletidos por um espelho plano chegando ao olho de um observador (objeto acima dos olhos).

REFRAÇÃO

1- Como se apresenta a reta normal (N) em uma superfície plana e em uma superfície circular? Em cada caso como deve incidir um feixe de luz para que este não sofra desvio ao passar de um meio para outro com diferentes índices de refração?

2- Descreva como os raios refratados se comportam em relação a reta normal nos casos: (a) ao passar de um meio de maior índice de refração para um meio de menor índice de refração; (b) ao passar de um meio de menor índice de refração para um meio de maior índice de refração;

3- Na Figura 9 mostramos a visão superior de um béquer com água. Alguns dos diagramas representam os caminhos qualitativamente corretos da luz ao atravessar o béquer, outras não. Quais diagramas estão incorretos? Explique a falha em cada um dos casos.

Figura 9. Assinale os diagramas corretos e explique a falha nos incorretos (30).

4- Analise os índices de refração da Figura 10 e responda. Para um mesmo ângulo de incidência diferente de zero, o maior desvio na direção de um raio de luz que se propaga no ar ocorrerá quando penetrar.

- na água.
- no álcool etílico.
- na glicerina.
- no quartzo cristalino.
- no vidro comum.

Substância	Índice de refração em relação ao ar
Água	1,33
Álcool etílico	1,63
Glicerina	1,47
Quartzo cristalino	1,57
Vidro comum	1,5

Figura 10. Substância com seus respectivos índices de refração em relação ao ar.

5- Um raio de luz entra em um cubo de plástico de 3cm de lado, como é mostrado no diagrama da Figura 11. O ângulo de incidência é de 75° . O índice de refração do plástico em relação ao ar é de 1,5. a) Em qual lado do cubo o raio de luz emergirá? Desenhe um esquema para justificar sua resposta. b) Em que ângulo o raio vai emergir?

Figura 11. Raio de luz entrando em um cubo de plástico com um ângulo de 75° (30).

LENTE CÔNCAVAS E CONVEXAS

1- A Figura 12 ao lado mostra um objeto AB, afastado de uma lente convergente, e as posições dos focos desta lente. a) Trace, em uma cópia, o diagrama que lhe permite localizar a imagem deste objeto fornecida pela lente. b) A imagem obtida é real ou virtual? É direta ou invertida? É maior ou menor do que o objeto?

Figura 12. Objeto AB, afastado de uma lente convergente com suas posições dos focais.

2- Uma lente convexa é usada para formar uma imagem de um lápis. A localização do lápis e sua imagem são mostradas na Figura 13 ao lado, mas a lente não. (a) Qual é a localização da lente? Explique em palavras e com um diagrama de raios como você determinou sua resposta.

Figura 13. Esquema mostrando a posição de um lápis e sua imagem para se desenhar a lente na posição correta (30).

(b) Onde estão localizados os pontos focais da lente? Explique em palavras e com um diagrama de raios como você determinou sua resposta.

3- A Figura 14 demonstra um objeto pequeno e sua imagem que é virtual. O eixo principal da lente é mostrado, mas a lente não. Considere o objeto como uma fonte pontual de luz. Esta situação é possível?

(a) Se for possível: A lente é côncava, convexa ou qualquer tipo é possível? Determine as posições da lente e seus focos. Explique como você determinou suas respostas.

(b) Se não é possível: Explique por que não.

Figura 14. Posição de um objeto e sua imagem virtual(30).

4- O diagrama da Figura 15 mostra a vista lateral de uma lente convergente delgada (fina), um lápis e cinco posições de observadores (1-5).

Figura 15. Lente convergente com um lápis e cinco posições de observadores (x_1 a x_5) (30).

(a) Os observadores nos pontos descritos poderiam ver uma imagem nítida da ponta do lápis? Em cada caso, explique por que. Além disso, se o observador for capaz de ver a imagem. Sugestão: desenhe um diagrama de raios.

(b) De quais pontos um observador poderia ver a imagem da borracha do lápis? De quais pontos um observador poderia ver a imagem inteira do lápis? Indique as regiões que um observador pode ver a imagem da borracha, a ponta do lápis e o lápis inteiro.

5- Um pequeno objeto é colocado na frente de uma lente côncava, como mostrado na Figura 16. Trace um diagrama de raios para determinar a localização da imagem. Nomeie cada raio, e explique como você optou por cada raio. Trate o objeto como uma fonte pontual de luz.

Figura 16. Pequeno objeto disposto na frente de uma lente côncava (30).

6- Ao sair da lente para que lado os feixes de luz sempre sofrerão desvio, para o lado espesso ou para o lado delgado. Caso necessário consulte suas anotações (30).

7- Ao reduzir o raio de curvatura de uma lente L a metade, sua distância focal será maior, menor ou igual a distância focal de duas lentes L idênticas, dispostas uma na frente da outra?

8- Na demonstração na qual seu professor inverteu a lente você observou que o ponto focal estava situado do lado plano da lente, sendo que na situação anterior (antes de girar a lente) o ponto focal estava situado do lado curva da lente. Explicar este fenômeno?

9- Discuta e compare a distância focal de duas lentes plano-convexas idênticas dispostas uma na frente da outra como representado na Figura 10 e na Figura 11.

Figura 17. Feixes de luz incidindo em duas lentes plano-convexas idênticas e com as superfícies planas juntas.

Figura 18. Feixes de luz incidindo em duas lentes plano-convexas idênticas e com uma superfície curva em contato com a plana.

10- Uma lente que possui as duas superfícies circulares com a parte central mais espessa é denominada lente biconvexa. Qual das três lentes representadas na Figura 19 possui menor raio de curvatura? Coloque estas lentes em ordem crescente de raio de curvatura.

Figura 19. Lentes com raios de curvatura diferente.

11- Na Figura 20 e na Figura 21 estão representadas lentes convergentes com seus pontos focais um de cada lado da lente e cinco feixes de luz incidindo do lado esquerdo da lente. Desenhe a continuidade destes feixes do lado direito da lente. Compare o raio de curvatura das duas lentes e faça uma discussão envolvendo a distância focal das mesmas. Obs: Considere que a mudança de direção dos feixes ocorra no plano central da lente. Esta aproximação é válida para lentes delgadas.

Figura 20. Raios de luz incidindo em uma lente plano-convexa.

Figura 21. Raios de luz incidindo em uma lente biconvexa.

12- Três feixes de luz incidirão em duas lentes uma plano-côncava e outra plano-convexa com raios de curvatura idênticos, como representado na Figura 22. Faça um desenho mostrando os feixes do outro lado das lentes? Explique sua idéia.

Figura 22. Três feixes de luz incidirão em duas lentes com raios de curvatura idênticos.

13- Três feixes de luz incidirão em duas lentes uma plano-côncava com raios de curvatura idênticos, dispostas de tal forma que se forma uma lente de ar entre elas, como representado na Figura 23. Faça um desenho mostrando os feixes do outro lado das lentes? Explique sua idéia.

Figura 23. Três feixes de luz incidindo em duas lentes uma plano-côncava com raios de curvatura idênticos.

14- Se no lugar da lente de ar, da figura do exercício 13, utilizássemos uma lente com índice de refração $n = 2$, como seriam os raios do lado direito deste conjunto de lente?

15- a) Nas configurações da Figura 24 e da Figura 25 desenhe os feixes refratados, explicando qual foi sua idéia ao traçar cada raio. Obs: considere que as lentes sejam delgadas, isto é considere que o desvio de cada feixe acontece no plano central de cada lente. b) Em cada caso: qual lente é convergente e qual é divergente? Explique.

Figura 24. Raios de luz paralelos incidindo em uma lente plano-convexa.

Figura 25. Raios de luz incidindo em uma lente plano-côncava.

16 Porque tanto nas lentes convergente quanto nas divergentes não ocorre desvio do feixe central?

17- A Figura 26 mostra uma lente e uma pequena fonte de luz, com alguns dos infinitos raios que partem dela. Observe que os raios 1 e 3 não fazem parte dos raios principais. Desenhe a continuação dos raios de luz do lado direito da lente, mostrando onde eles convergem.

Figura 26. Alguns dos infinitos raios de luz de uma lâmpada incidindo em uma lente biconvexa.

18- O diagrama da Figura 27 mostra uma lente convexa esquemática com alguns raios de luz que passam pela ponta de um lápis e que alcançam a lente. Desenhe a continuação destes raios. Onde está a imagem do lápis? A imagem será direita ou invertida?

Figura 27. Lente convexa com alguns raios de luz que passam pela ponta de um lápis e alcançam a lente.

19- Qual é a relação entre a pupila e a íris?

20- Compare os principais dispositivos ópticos de uma câmara fotográfica com os principais elementos ópticos do olho humano.

APÊNDICE E – Quadros de entrevistas

Quadro 1 – Respostas das entrevistas com estudantes que realizaram as experimentações Individualmente.

Estudante-1	Estudante-2	Estudante-3	Estudante-4
1- Vocês se sentiram desafiados ao fazer as previsões? Sentiram medo de errar? Fazer a previsão desperta curiosidade em saber a resposta? E em realizar o experimento para saber se sua idéia esta correta ou errada?			
“Eu me senti desafiada em fazer as previsões, no entanto, na maioria dos testes senti medo de errar. Quanto à curiosidade, fazer previsões antes de saber a resposta me pareceu desafiador, o que de fato, tenha despertado minha curiosidade ainda mais, já que depois eu sempre queria saber se minha resposta estava correta. E mesmo tendo bastante dificuldade com a realização dos experimentos, me senti motivada em fazer os experimentos para saber se acertei ou não na previsão.”	“Ao fazer as previsões eu me senti desafiado, porém não tive medo de errar, pois isto faz parte do experimento. Na maioria das pessoas e também comigo, temos a curiosidade de saber as respostas e em um experimento científico não é diferente. Após você decidir sua resposta, ficamos completamente curiosos em saber as respostas.”	“Não ter a resposta e fazer previsões é um desafio, já que você poderá ver se sua idéia está certa ou errada. Não senti medo de errar, já que não seria avaliada por isso.”	“Senti um pouco de medo de errar porque as respostas pareciam óbvias. É claro que fazendo a previsão você quer saber a resposta.”
2- Com o método de prever o que vai acontecer antes de fazer o experimento vocês aprenderam mais ou menos? Este método ajuda a guardar o que vocês aprenderam? Será que fazendo a previsão antes do experimento ajuda a guardar por mais tempo o que vocês aprenderam?			
“Aprendemos mais, pois, ao visualizar os resultados há a possibilidade de refletir sobre a previsão. Quanto a eficiência do método na construção da aprendizagem, imagino que ele ajuda a guardar o que aprendi, já que fazer a previsão e em seguida comparar com o resultado experimental leva a uma reflexão.”	“Com este método de previsões, em meu ponto de vista, as pessoas aprendem mais, pois precisam pensar para prever o que ocorrerá no experimento, fazendo com que isso fique por muito mais tempo na “cabeça”. Não sei ao certo se conseguimos guardar por 12 meses, pois isso varia de pessoa para pessoa, mas no meu caso guardei por pouco mais de 6 meses, talvez uns 7 a 8 meses.”	“Acredito que mais, pois a previsão seguida do experimento favorece que você guarde a teoria.”	“Com o desafio da previsão você faz o experimento com mais atenção e mais prazer. Esta atenção e a realização do experimento a memorizar o resultado do experimento. Com certeza deste jeito é mais fácil guardar por mais tempo o que aprendeu e ‘vivenciou’ do que só olhando para as imagens mostradas na teoria”.

<p>3- Qual a opinião de vocês sobre os enunciados e os desenhos? Nos enunciados Estava claro o que era para ser feito? Se não onde e por quê? Seria necessário detalhar mais os enunciados. Os desenhos ajudaram a entender o que era para ser feito? É necessário mais figura?</p>			
<p>“Os enunciados e desenhos estavam claros. Dava para entender o que era para ser feito. Não é necessário mais figuras.”</p>	<p>“Quando fiz os experimentos, pelo que me lembro, não tive nenhuma dificuldade com os enunciados ou desenhos, todos estavam bem claros quanto ao que se pedia. A respeito dos desenhos, eles sempre ajudam a entender o que se pede por isso desenhos ajudam a entender sempre.”</p>	<p>“Alguns itens (não lembro quais) tive dificuldade em entender o que era pedido.” “Os desenhos e esquemas ajudam bastante.”</p>	<p>“Quase sempre estava claro o que era para ser feito. Tive dúvidas na pergunta das lâmpadas ‘alinhadas’. Neste caso teria ajudado um desenho. Os desenhos ajudaram muito e eram fáceis de entender. Facilitaria as previsões se incluísse mais desenhos semi-prontos para serem preenchidos.”</p>
<p>4- O que vocês acharam do material utilizado? Era de fácil manuseio? Era simples ou não? O material foi eficiente para investigar o conteúdo da prática?</p>			
<p>“O material é bom. Sendo bastante simples, sem nenhuma dificuldade para manuseá-lo. Acredito que o material apresentado foi o suficiente para realizar todas as atividades propostas na prática.”</p>	<p>“Achei o material prático, rápido e simples de usar. Com ele entendi bem a parte física dos experimentos.”</p>	<p>“O material era bom, já que a prática foi realizada com materiais que são encontrados com facilidade no dia-a-dia.”</p>	<p>“Os instrumentos necessários são bem básicos e fáceis de usar e eficiente.”</p>
<p>5- Qual (is) experimento (s) você achou mais interessante? Foi fácil realizar os experimentos? Quais partes foram mais fáceis e quais foram mais difíceis? Por quê? (luz, sombra, paralaxe, espelhos).</p>			
<p>“Eu gostei o do espelho (isso devido ao fato a uma certa dificuldade que eu tinha de entender os desenhos encontrados nos livros didáticos). Não foi fácil realizar os experimentos. Na parte dos espelhos, encontrei dificuldades para traçar os raios que formavam imagens.”</p>	<p>“Não sei ao certo os nomes dos que mais achei interessante, mas eram os experimentos sobre refração, incidência e refração de lasers em lentes de todos os tipos. As partes mais fáceis que achei, foi desenhar os raios, incidir e nas lentes e também as experiências sobre sombra e penumbra.”</p>	<p>“Não me lembro. A parte de paralaxe foi difícil de fazer, pelo que me lembro.”</p>	<p>“Todos foram interessantes. O mais impressionante é quando você calcula e depois mede para conferir o resultado do seu cálculo no experimento.”</p>
<p>6- O que você mais gostou das aulas práticas? Experimento ou previsão? As maiores facilidades estavam em realizar os experimentos ou em fazer as previsões do que iria acontecer? O que vocês acharam mais importante para suas aprendizagens? As previsões, os experimentos ou ambos? Por quê?</p>			

<p>“Eu gostei tanto de prever quanto realizar o experimento. Ambos são importantes e levam a uma reflexão acerca do que se está fazendo. Talvez fazer previsões seja fácil, mas fazer e acertar o resultado já não sei se é tão fácil assim. Montar o experimento e interpretar a leis físicas apresentadas também não é fácil. Logo, cada um tem seu nível de dificuldade e seus objetivos.”</p>	<p>“Gostei mais da parte de realizar os experimentos e também a achei mais fácil do que a previsão. Já no aspecto do que é mais importante, acho que as duas coisas são, pois com a previsão fala o que acha que vai acontecer e com o experimento você comprove se estava errado ou certo sobre sua previsão.”</p>	<p>“Gostei mais dos experimentos, já que você mesmo manuseia os materiais, o que ajuda a fixar o conhecimento. Sendo ambos, as previsões e a experimentações importantes para o aprendizado, um completa o outro.”</p>	<p>“Eu particularmente acho a previsão mais divertida do que o experimento, mas é claro que um não faz sentido sem o outro. Ambos são importantes e se completam. A previsão motiva e o experimento visualiza.”</p>
<p>7- Como você avalia seu aprendizado com o auxílio dos experimentos? Comente se eles não fossem utilizados? Comparando com o método de ensino de uma aula do dia a dia, em qual delas você acha que se aprende mais? Será que ao realizar os experimentos não ajudaria a guardar por mais tempo o que vocês aprenderam?</p>			
<p>“Quando há uma reflexão do que se está fazendo e o que se está vendo há aprendizado e memorização por um tempo maior. Logo, somente os conteúdos (textos de leituras cansativas e desenhos que requer habilidade de interpretação) contidos nos livros e apostilas didáticas não são suficientes para se aprender Física. Ver o fenômeno físico ocorrendo em tempo real, no qual, há a possibilidade de se interferir no aparato experimental e verificar o que corre é mais motivador e mais fácil de compreender a teoria.”</p>	<p>“Em minha opinião, aprendi mais do que em uma sala de aula, pois com o material experimental você vê o que acontece na prática, não fica só na teoria, observa a “Física no Mundo Real”. Fosse bom que em todas as salas de aula tivessem laboratórios para os professores mostrarem os experimentos na prática.”</p>	<p>“Nos laboratórios que tinha tido até então, não havia espaço pra previsões, apenas tinha que realizar o que estava escrito no roteiro, portanto realizando previsões e fazendo os experimentos, acredito que o que foi aprendido seja guardado por mais tempo. Os experimentos são muito importantes e não devem ser descartados.”</p>	<p>“sem o experimento se aprende só a teoria ‘seca’, que não é fácil de memorizar, a aula se esquece rápido. Com os experimentos é mais empolgante e por isto mais eficiente. Um experimento que se faz certamente vai lembrar, uma simples folha de aula se esquece mais rápido.”</p>

Quadro 2 – Respostas as entrevistas com estudantes que realizaram as experimentações em grupo na E. E. Prof. José Juliano Neto.

G-1 (3 alunos)	G-2 (4 alunos)	G-3 (3 alunos)
1- Vocês se sentiram desafiados ao fazer as previsões? Sentiram medo de errar? Fazer a previsão desperta curiosidade em saber a resposta? E em realizar o experimento para saber se sua idéia esta correta ou errada?		
“Medo de errar”; desperta a curiosidades; “demoramos mais para fazer a previsão”; “era legal realizar o experimento para saber se estava certo ou errado”; “era mais legal ainda quando dava certo”. Por quê? “conseguimos pensar numa coisa que estava certa.”	Não se sentiram desafiados. Desperta curiosidade. Não tiveram medo de errar; “Sim. A gente não sabia o que ia acontecer e depois que fez cada um teve uma expectativa.” “dava vontade de saber o que ia acontecer”; “um achava uma coisa, outro achava outra”.	Não tiveram medo de errar. “um pouco de desafio, porque não tinha contato com o tipo de material”; “desperta muito”; “Erramos algumas previsões.”
2- Com o método de prever o que vai acontecer antes de fazer o experimento vocês aprenderam mais ou menos? Este método ajuda a guardar o que vocês aprenderam? Será que fazendo a previsão antes do experimento ajuda a guardar por mais tempo o que vocês aprenderam?		
“fazer a previsão antes estimula aprender mais”; “acho que todos os professores deveriam dar experimentos para a gente”; “com o experimento demora mais para esquecer, é uma coisa que é diferente.”	“a gente grava mais”; “aprende.”	“com o método de prever”; “eu acho que você acaba aprendendo mais, você tem que acabar correndo atrás do resultado”; “Você não vai ter o resultado na mão. Se você faz o experimento você vai falar acontece isso, aqui você vai ter que pensar um pouco o que será que vai acontecer para depois realizar o experimento”. “sim, porque tudo o que você faz sozinho, você guarda mais fácil, porque você tem que correr atrás.”
3- Qual a opinião de vocês sobre os enunciados e os desenhos? Nos enunciados estava claro o que era para ser feito? Se não onde e por quê? Seria necessário detalhar mais os enunciados. Os desenhos ajudaram a entender o que era para ser feito? É necessária mais figura?		
“os desenhos estavam bons, o da sombra dava para entender”; “no da paralaxe o enunciado era complicado. Nós nunca tínhamos feito previsão”; “se tivesse mais figura do que era para fazer era mais fácil”; “era uma coisa que a gente nunca tinha visto”; “Ao escrever a previsão como era?”	“ficamos perdido onde colocava o parafuso, faltou mais detalhes no enunciado, os desenhos estavam bons. O da sombra dava para entender”.	“na paralaxe tive que ler umas ‘par’ de vezes, não sabia como que era para segurar o lápis”; “espelho, tive dificuldade onde se colocava o parafuso. Se era aqui ou atrás”; “O do lápis tinha desenho? Eu acho que os desenhos estavam bons, mas no do lápis acho que muita gente não sabia”; “Confusos, pois não sabiam onde estava a imagem.” “tive dificuldade nos de por os alfinetes, mas os desenhos

<p>“eu acho que melhor é falar, pois chegava na hora que a gente dava opinião cada um falava uma coisa, íamos colocando um pedaço de um, um pedaço do outro, hora que a gente via tava tudo misturado”;</p> <p>“a gente vai anotando tudo, eu acho que é bom”;</p> <p>“é mais importante fazer a previsão por escrito.”</p>		<p>ajudaram”; “vendo o desenho na sequência você já faz a previsão de cabeça, mas por escrito é mais difícil” “difícil é por no papel”;</p> <p>“da vontade de ligar para ver a resposta.”</p>
<p>4- O que vocês acharam do material utilizado? Era de fácil manuseio? Era simples ou não? O material foi eficiente para investigar o conteúdo da prática?</p>		
<p>“era fácil de manusear, simples”; “o material foi suficiente”;</p> <p>“deu para ver legal”</p> <p>“a gente ficava vendo quem que ia acertar.”</p>	<p>“só é complicado a montagem”;</p> <p>“tivemos mais dificuldade no de paralaxe. Foi diferente. Quando você olha é bem melhor. É mais dinâmico, não é monótono.”</p>	<p>“o material foi suficiente”; “as carteiras não atrapalharam, já estamos acostumados, tem que agachar, mas não tem problema”; “já estavam acostumados a trabalharem em grupo e a juntarem as carteiras. - afirmaram que na sala de aula funciona.” “é bom”</p>
<p>5- Qual (is) experimento (s) você achou mais interessante? Foi fácil realizar os experimentos? Quais partes foram mais fáceis e quais foram mais difíceis? Por quê? (luz, sombra, paralaxe, espelhos).</p>		
<p>“o do espelho eu acho, colocava o parafuso aí imaginava que a imagem ia tá para ‘cá’ e não atrás”;</p> <p>“foi difícil para enxergar, mas o legal é que dava certinho”;</p> <p>“gostamos de quebrar a cabeça e tentar fazer o experimento.”</p>	<p>“gostei mais do da sombra.”</p>	<p>“no começo é mais obvio, mais depois complica” (luz e sombra). “o do papelzinho era o mais interessante”;</p> <p>“os mais fáceis de fazer a previsão era os primeiros.”</p>
<p>6- O que você mais gostou das aulas práticas? Experimento ou previsão? As maiores facilidades estavam em realizar os experimentos ou em fazer as previsões do que iria acontecer? O que vocês acharam mais importante para vossa aprendizagem? As previsões, os experimentos ou ambos? Por quê?</p>		
<p>“gostamos mais do experimento do que da previsão, na previsão a gente não sabia se íamos acertar, dava medo de errar. O mais importante para aprender é a previsão, porque a gente vê o que está errado.”</p>	<p>“a previsão é mais difícil, vem um monte de idéias e a gente não sabe o que vai acontecer”;</p> <p>- 2: acham que é mais importante a previsão: “você tem que pensar”;</p> <p>- 2: acham que é mais importante o experimento: “você vê”.</p>	<p>“a previsão tem que pensar, demora mais”; Ao fazerem a previsão, se o resultado não é o mesmo da previsão, eles aceitavam que a previsão estava errada. Por exemplo, no da lâmpada extensa.</p> <p>“você faz a previsão aí você vê que deu errado, então você</p>

		quer saber por que eu pensei daquele jeito”; “fazer muita previsão acaba cansando um pouco.”
7- Como você avalia seu aprendizado com o auxílio dos experimentos? Comente se eles não fossem utilizados? Comparando com o método de ensino de uma aula do dia a dia, em qual delas você acha que se aprende mais? Será que ao realizando os experimentos não ajudaria a guardar por mais tempo o que vocês aprenderam?		
“com o experimento é mais interessante”; “ficamos um tempão tentando colocar o parafuso em cima do espelho”; “faltou mesmo foi o tempo. É muito legal fazer a previsão.”	“mais com o experimento.”	“você gasta mais tempo com a previsão do que fazer o experimento”; “com o experimento é mais positivo, você aprende mais rápido.”

APÊNDICE F – Questões para o pré e pós-teste

1) Uma máscara com um buraco triangular é colocada entre uma pequena lâmpada e um anteparo. Veja a Figura 1. Qual item abaixo mostra corretamente o que você veria no anteparo ao acender a luz?

Figura 1. Uma máscara com um furo triangular entre uma lâmpada pequena e um anteparo.

2) Uma máscara com um buraco triangular é colocada entre uma lâmpada fluorescente de luminária e um anteparo. Veja a Figura 2. Qual item abaixo mostra corretamente o que você veria no anteparo ao acender a luz?

Figura 2. Uma máscara com um furo triangular entre uma lâmpada extensa e um anteparo.

A Figura 3 ilustra uma girafa em frente de um espelho plano e uma pessoa olhando para o espelho plano.

3) A imagem da girafa está localizada: (a) em frente do espelho, (b) na superfície do espelho, (c) atrás do espelho, (d) não existe nenhuma imagem, (e) as informações dadas não são suficientes.

Figura 3. Um objeto e um observador em frente a um espelho plano.

4) A altura da imagem da girafa é: (a) maior que a girafa, (b) menor que a girafa, (c) do mesmo tamanho, (d) não existe nenhuma imagem, (e) depende do tamanho do espelho e da distância que a girafa está do espelho.

5) A Figura 4 mostra a girafa em uma nova localização. A pessoa vê a nova imagem: (a) mais a direita de onde ela estava antes, (b) mais a esquerda de onde ela estava antes, (c) a pessoa não vê a imagem da girafa, (d) a imagem não é formada, já que a girafa não está exatamente em frente do espelho.

Figura 4. Um objeto à direita de um espelho plano e um observador em frente ao espelho.

As questões 6 e 7 referem-se a um raio de luz viajando de um meio transparente de índice de refração n_1 , para outro meio transparente de índice de refração n_2 .

6) A Figura 5 mostra o raio incidente, refletido e refratado. Assinale a alternativa que justifica corretamente os raios mostrados nesta figura: (a) somente se $n_1 > n_2$; (b) somente se $n_2 > n_1$; (c) somente se $n_2 = n_1$; (d) esta representação não existe; (e) independe do índice de refração, basta que os meios sejam transparentes.

Figura 5. Raio de luz incidente, refletido e refratado.

7) A Figura 6 mostra um feixe de luz incidindo paralelamente a uma reta que passa pelo centro de um bloco semicircular de acrílico. Qual dos feixes indicados na figura melhor representa a trajetória da luz refratada, no interior do semicírculo?

- (a) A (d) D
(b) B (e) E
(c) C

Figura 6. Raio de luz atravessando um bloco semicircular.

8) Um estudante olha através de uma lente convexa para um objeto distante, veja a Figura 7. A imagem que o estudante vê é: (a) real, invertida e menor do que o objeto; (b) virtual, direita e maior do que o objeto; (c) virtual, direita e menor do que o objeto; (d) real, direita e maior do que o objeto; (e) nenhuma das opções anteriores.

Figura 7. Objeto distante sendo observado por uma lente biconvexa.

9) Um estudante olha através de uma lente convexa para um objeto muito próximo, veja a Figura 8. A imagem que o estudante vê é: (a) real, invertida e menor do que o objeto; (b) virtual, direita e maior do que o objeto; (c) virtual, direita e menor do que o objeto; (d) real, direita e maior do que o objeto; (e) nenhuma das opções anteriores.

Figura 8. Objeto muito próximo sendo observado por uma lente biconvexa.

10) Um estudante dispõe uma lente côncava (divergente) muito próxima da folha de sua apostila, e olha através da lente, veja a Figura 9. A imagem que o estudante vê é: (a) real, invertida e menor do que o objeto; (b) virtual, direita e maior do que o objeto; (c) virtual, direita e menor do que o objeto; (d) real, direita e maior do que o objeto; (e) nenhuma das opções anteriores.

Figura 9. Objeto muito próximo sendo observado por uma lente bicôncava.

11) A Figura-11 mostra um objeto à direita de uma lente convexa e antes do foco. Faça um traçado de raios que mostre a posição da imagem. Desenhe a imagem corretamente.

Figura 11. Objeto antes do foco de uma lente biconvexa.

Estas questões foram inspiradas e adaptadas de (25)