



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Ciências Biológicas

Instituto de Física

Instituto de Química

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS**

**EXPERIMENTOS EM ÓPTICA: UMA PROPOSTA DE
RECONCEITUALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES
EXPERIMENTAIS DEMONSTRATIVAS**

JAIR LÚCIO PRADOS RIBEIRO

Brasília - DF

Março

2010



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação

Instituto de Ciências Biológicas

Instituto de Física

Instituto de Química

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS

MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

**EXPERIMENTOS EM ÓPTICA: UMA PROPOSTA DE
RECONCEITUALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES
EXPERIMENTAIS DEMONSTRATIVAS**

JAIR LÚCIO PRADOS RIBEIRO

Dissertação realizada sob orientação da Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima da Silva Verdeaux e apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração Ensino de Física, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Brasília – DF

Março

2010

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

Ribeiro, Jair L. P.

Experimentos em óptica: uma proposta de reconceitualização / Jair Lúcio Prados Ribeiro – Brasília, 2010. Dissertação de Mestrado, apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas, Instituto de Física, Instituto de Química do Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências da Universidade de Brasília/UnB. Área de concentração: Ensino de Física.

1. Óptica. 2. Ensino de Óptica. 3. Ensino de Física 4. Ensino Médio. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Jair Lúcio Prados Ribeiro

EXPERIMENTOS EM ÓPTICA: UMA PROPOSTA DE RECONCEITUALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DEMONSTRATIVAS

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências – Área de Concentração Ensino de Física, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade de Brasília.

Aprovada em 12 de março de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a MARIA DE FÁTIMA DA SILVA VERDEAUX
(Presidente - IF/UnB)

Prof.^a Dr.^a ELIANE MENDES GUIMARÃES
(Membro externo não vinculado ao programa – FUP/UnB)

Prof.^a Dr.^a CÉLIA MARIA SOARES GOMES DA COSTA
(Membro interno vinculado ao programa – IF/UnB)

Prof. Dr. CÁSSIO COSTA LARANJEIRAS
(Suplente – IF/UnB)

DEDICATÓRIA

Para minha namorada, Anna Clarice, pelo amor, carinho e dedicação integral.

May the love be with us.

AGRADECIMENTOS

Como não poderia deixar de ser, começo agradecendo a meus pais, Jair Ribeiro e Vilma Lúcia, por terem dado o pontapé inicial nesse trabalho, lá pelos idos de 1972.

Agradeço a minha irmã Jailma, meu cunhado João Afonso e meu sobrinho favorito (e único) João Pedro, pelo estímulo intelectual que sempre recebo em nossos encontros.

É óbvio que minha querida orientadora, Maria de Fátima da Silva Verdeaux, pela orientação, paciência, amizade e *mucho más*, merece meus mais sinceros agradecimentos. Aproveito o ensejo para agradecer também ao seu marido (e grande pianista) Cyrille Verdeaux, pelas frutíferas e estimulantes conversas que tivemos durante as visitas ao lar do casal para discussão da pesquisa. E agradeço também ao Bóris pelas lambidas carinhosas nos pés.

Sou grato aos professores Cássio Laranjeiras, Maria Luiza Gastal, Gerson Mól, Célia Maria de Souza, Eliane Guimarães, Wildson Santos, Ivan Costa e Paulo Motta, pelas valiosas sugestões dadas ao projeto, mesmo que inadvertidamente. E claro, agradeço também à nossa secretária do programa, Carolina Okawachi, pela presteza e dedicação à nossa causa!

Aos estudantes que participaram dessa pesquisa, por sua compreensão da importância de participação em uma pesquisa científica, meu muito obrigado. Aos meus amigos e/ou colegas de trabalho, especialmente Lígia, Cléo, Paulão e Velane, obrigado pelas conversas inspiradoras e pelas críticas!

Agradeço também à minha namorada Anna Clarice, pelo apoio, carinho, amor e paciência (claro!), ao longo de toda a aventura de pesquisa e estudo que foram os últimos dois anos.

In memoriam: Arlim Manoel Prados Ribeiro (1976 - 2008).
Catch a fire, man.

RESUMO

Nesse trabalho, é analisada a influência que o uso de experimentos demonstrativos pode trazer para a aprendizagem de Óptica. Assume-se como hipótese principal que o desenvolvimento de experiências em sala, quando reconceitualizadas segundo a proposta de Hodson, tende a contribuir para a geração de conflitos cognitivos no estudante, se comparada à experiência didática tradicional, onde a experimentação frequentemente está ausente. São dadas justificativas para uma análise dessa mudança sob um viés piagetiano, compatibilizado com a proposta de reconceitualização do trabalho experimental de Hodson. A metodologia utilizada para a estrutura de apresentação dos temas relativos à natureza da luz, reflexão, refração, difração e espalhamento foi “quase-experimental”, trabalhando com um grupo experimental contrastado a um grupo de controle. A mensuração da eficácia do método de trabalho sugerido foi feita a partir de uma análise que combinou fatores quantitativos e qualitativos, a qual permitiu identificar que alguns dos tópicos discutidos apresentaram melhores resultados na aprendizagem, por estarem mais vinculados às experiências demonstrativas realizadas.

ABSTRACT

In this work, we analyze the influence that the use of demonstrative experiments can bring to the learning of optics. It is assumed as main hypothesis that the development of experimental activities in the classroom, when reconceptualized according to Hodson proposal, tends to contribute to the generation of cognitive conflicts in students when compared to traditional didactic experience, where experimentation is often absent. Justifications are given for an analysis of changes under a Piagetian bias, reconciled with the reconceptualization of the experimental work proposed by Hodson. The methodology used to structure the presentation of issues relating to the nature of light, reflection, refraction, diffraction and scattering was quasi-experimental, working with an experimental group contrasted with a control group. The measuring of the effectiveness of the suggested working method was made from a quantitative analysis, which identified some of the topics discussed had better results in learning, being more tied to the demonstration experiments carried out.

SUMÁRIO

1. OBJETO DE PESQUISA

1.1 – Introdução	13
1.2 - A importância dos experimentos no ensino de Física	13
1.3 - Dificuldades para o uso de experimentos no ensino de Física	15

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - Introdução	18
2.2 - A teoria de desenvolvimento mental de Jean Piaget	20
2.3 – Hodson e a reconceitualização do trabalho experimental	22
2.4 – O ideário piagetiano e a reconceitualização da atividade experimental	25

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Metodologia da revisão	28
3.1 – A pesquisa em experimentação em Óptica - metodologia de classificação	29
3.2 - A natureza da luz	32
3.3 - Reflexão da luz	37
3.4 - Refração da luz	41
3.5 - Difração e espalhamento da luz	47

4. METODOLOGIA

4.1 – O contexto escolar	53
4.2 - Caracterização da amostra	53
4.3 – Descrição das atividades	55
4.4 – A reconceitualização da atividade experimental como estratégia de ensino	57
4.5 - Aulas conduzidas no Grupo Experimental e no Grupo de Controle	58
4.5.1 - Aula 1 (15 fev. 2008) – Apresentação e aplicação do pré-teste	59
4.5.2 - Aula 2 (22 fev. 2008) – Natureza dual da luz, luz e sombra	60
4.5.3 - Aula 3 (29 fev. 2008) – Fundamentos da Óptica: cor	60

4.5.4 - Aula 4 (07 mar. 2008) – Reflexão: fundamentos e espelhos planos	61
4.5.5 - Aula 5 (28 mar. 2008) – Reflexão da luz: espelhos esféricos	62
4.5.6 - Aula 6 (04 abr. 2008) – Reflexão da luz: exercícios	63
4.5.7 - Aula 7 (11 de abril de 2008) – Refração e reflexão total da luz	63
4.5.8 - Aula 8 (18 de abril de 2008) – Prismas e dispersão da luz branca	64
4.5.9 - Aula 9 (09 de maio de 2008) – Lentes e Óptica da visão	65
4.5.10 - Aula 10 (16 de maio de 2008) – Refração (exercícios)	66
4.5.11 - Aula 11 (30 de maio de 2008) – Difração e espalhamento	66
4.5.12 - Aula 12 (20 de junho de 2008) – Aplicação do pós-teste	67

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Metodologia da análise de resultados	69
5.2 – Análise da questão 01	71
5.3 – Análise da questão 02	73
5.4 – Análise da questão 03	75
5.5 – Análise da questão 04	77
5.6 – Análise da questão 05	79
5.7 – Análise da questão 06	82
5.8 – Análise da questão 07	84
5.9 – Análise da questão 08	86
5.10 – Análise da questão 09	88
5.11 – Análise da questão 10	90
5.12 – Análise da questão 11	92
5.13 – Análise da questão 12	94
5.14 – Análise da questão 13	97
5.15 – Análise da questão 14	99

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS 103

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 110

ANEXOS

Anexo 1 - Pré-teste	121
Anexo 2 - Pós-teste	126
Anexo 3 - Créditos das figuras do pré-teste	130
Anexo 4 - Folha de consolidação de resultados (pré-teste e pós-teste)	133
Anexo 5 - Exercícios sobre reflexão da luz	136
Anexo 6 - Exercícios sobre refração da luz	150
Anexo 7 - Proposta de ação profissional	161

*I'm starting with the man in the mirror
I'm asking him to change his ways
And no message could have been any clearer
If you wanna make the world a better place,
Take a look at yourself and then make a change.*

(Michael Jackson, *Man in the Mirror*. Álbum: *Bad*, 1987)

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Problema de pesquisa

A proposta de pesquisa descrita nesse trabalho tem como foco a análise da influência que a experimentação pode trazer para o aprendizado da óptica. Para tal, conjecturamos que a condução de experiências demonstrativas em sala, quando reconceitualizadas segundo a proposta de Hodson (1994), tende a contribuir para a geração de conflitos cognitivos no estudante, estimulando o aprimoramento dos esquemas mentais do estudante, quando comparada à experiência didática tradicional, onde a experimentação frequentemente está ausente.

Assim, nosso trabalho sugere uma reformulação da maneira com que os conteúdos da Óptica são abordados em sala, inspirado pela tradição newtoniana de se estudar a luz a partir da análise e compreensão de experiências reais (NEWTON, 1704), estimulando a atualização do conteúdo curricular tradicional do ensino de Física no nível médio, a partir da avaliação da eficácia da experimentação como recurso instrucional primário.

A análise da influência da experimentação em nosso trabalho é predominantemente quantitativa, mas discussões qualitativas baseadas na experiência didática desenvolvida durante a pesquisa também estão presentes. Uma significativa parcela dos experimentos realizados durante a pesquisa foi adaptada de sugestões constantes em artigos da revisão bibliográfica, colaborando para a integração entre a pesquisa na área de ensino de ciências e a sua aplicação efetiva em sala de aula.

1.2 - A importância dos experimentos no ensino de Física

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN) (BRASIL, 1998), a Física não é uma disciplina estanque, fazendo parte de um ramo maior, nominalmente as “ciências da natureza, matemática e suas tecnologias”. Por ser considerada uma ciência da natureza, é esperado que a observação e compreensão de fenômenos naturais explicados pelas teorias da Física estejam presentes na sua apresentação aos alunos.

A experimentação é claramente uma parte desse processo. Observar diretamente um fenômeno pode levar o estudante a ter uma visão absolutamente nova ou diversa sobre o mesmo. Os próprios professores afirmam que a experimentação é fundamental para a maior compreensão de um tema, e várias obras presentes nessa revisão mostram falas dos próprios professores em atividade ou em formação, corroborando essa informação (LABURÚ et al., 2007; DA ROSA e DA ROSA, 2005; GRANDINI e GRANDINI, 2004). Por exemplo, encontramos na revisão realizada por Alves (2006):

A maioria dos artigos que foram analisados nesta revisão de literatura aponta para encaminhamentos de possíveis soluções para a melhoria do ensino de Física, o desenvolvimento de uma educação voltada para a participação dos indivíduos, que devem estar capacitados a compreender os avanços tecnológicos atuais e a atuar de modo que suas colocações sejam mais fundamentadas, agindo de forma mais consciente e responsável diante dos grupos sociais em que convivem. Pode-se dizer que [...] o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de minimizar as dificuldades relativas a aprender e a ensinar Física de modo significativo. (p. 25)

A importância da atividade experimental e sua interação com a aprendizagem de Física estão também presentes no trabalho de Araújo e Abib (2003), em sua revisão da literatura sobre experimentos no ensino de Física:

Acredita-se que, de um modo geral, a utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, amplamente utilizadas pelos autores pesquisados e que visam principalmente à ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados [...]. (p. 190)

Para Araújo e Abib (2003), “os autores são unânimes em defender o uso de atividades experimentais”, em especial pela capacidade intrínseca dos experimentos de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, além da tendência que a experimentação propicia para a construção de um ambiente motivador (op. cit., 2003). A unanimidade nem sempre é conseguida, entretanto, na efetiva aplicação de atividades experimentais em sala de aula.

1.3 - Dificuldades para o uso de experimentos no ensino de Física

Apesar da sua inegável importância como recurso instrucional (ARAÚJO e ABIB, 2003), a atividade experimental não está sempre presente nos cursos de Física de ensino médio, e muitas vezes apresenta sérias dificuldades para ser implantada com eficácia. A própria literatura assim o demonstra. Apesar do grande volume de artigos que ressaltam as vantagens da atividade experimental, há um número também relevante de artigos que apresentam o ponto de vista contrário: embora o trabalho experimental seja importante para o aprendizado da Física, ele raramente é utilizado ou quando o é, muitas vezes sua importância é superestimada ou mal-compreendida. Por exemplo, encontramos em Laburú et al. (2007):

As atividades experimentais de Física são raramente utilizadas pela maioria dos professores brasileiros. [...] Investigações apontam como justificativas [...]: indisponibilidade ou qualidade de material, excessivo número de alunos em sala de aula, formação precária dos professores, pouca bibliografia para orientá-los, restrições institucionais [...], disponibilidade da sala de laboratório (TSAI 2003: 855, apud op. cit., 2007), ausência de horário específico, necessidade de laboratorista, inexistência de programação e articulação entre atividades experimentais com o curso (RICHOUX e BEAUFILS, 2003; GARCIA et al., 1995, apud op. cit., 2007), falta de atividades preparadas, ausência de tempo para o professor planejar e montar suas atividades, carência de recursos (BORGES, 2000; PESSOA et al., 1985, apud op. cit., 2007). (p. 306)

Não é raro que a ausência de experimentação em sala seja atribuída à má formação do professor ou seu despreparo para as exigências da profissão. Novamente, encontramos em Laburú et al. (2007):

O maior número de dados da investigação de Kanbach (2005, apud op. cit., 2007) [...] nos permite sugerir [...] que o “fracasso experimental” quase generalizado nas escolas se evidencia, com certa frequência, a partir de um tipo de relação com o saber profissional de simples emprego e não de vocação. O afastamento desta última condição para o de simples “ganha pão”, dada pela primeira condição, parece ter origem na entrada da universidade ou durante a profissão. Na primeira situação, há indicações de que a opção profissional escolhida se deu por equívoco ou por conveniência. [...] A última opção é compreendida, principalmente, pela maior facilidade de concorrência nos exames, sendo que os compromissos ou desejos se acham essencialmente externos à carreira. Outra situação acontece quando se adentra ao curso por afinidade ou ilusão vocacional que se vão progressivamente volatilizando em razão da desilusão com a própria formação ou com a dura realidade que se depara o licenciando frente às condições de trabalho. (p. 317)

Já Hodson (1994) alega que o trabalho experimental, mesmo quando realizado por um professor habilitado para tal, não necessariamente se mostrará eficaz:

Muitas das dificuldades discutidas previamente se devem à maneira irreflexiva com que os planejadores dos currículos e os professores empregam o trabalho experimental. Em poucas palavras, (o trabalho experimental) é suprautilizado e subutilizado. Usa-se em demasia no sentido que os professores usam as experiências como algo normal e não como algo extraordinário, com a ideia que servirá como um "dispositivo automático de entrada" que permitirá alcançar todos os objetivos da aprendizagem. É subutilizado no sentido que somente em poucas ocasiões seu real potencial está sendo alcançado completamente. Ao contrário, a parte grande das práticas que são oferecidas é mal concebida, são confusas e lhes falta o real valor educativo. (p.306, tradução nossa)

Percebe-se dos artigos expostos que não há apenas uma necessidade de um maior uso da experimentação para o ensino de ciências, mas também a realização de experiências que sejam capazes de levar o estudante a realmente compreender os métodos das ciências naturais. Em outras palavras, a prática experimental deve ser revista, ou reconceitualizada. A reconceitualização do trabalho experimental é a proposta central do artigo de Hodson e funciona como a mola-mestre desse trabalho. O trabalho de Hodson será discutido em detalhes no próximo capítulo, pois suas ideias fazem parte do referencial teórico da nossa pesquisa.

The sun is gone, but I have a light.

(Nirvana, *Dumb*. Álbum: *In Utero*, 1993)

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - Introdução

Mesmo que um professor não tenha uma longa experiência como regente de turmas de ensino fundamental ou médio, é possível perceber a extrema dificuldade que o aprendizado de ciências apresenta para os estudantes, de forma geral. E, evidentemente, o seu complemento natural é também rapidamente identificado: é muito difícil *ensinar* ciências. Para Driver et al. (1999), as causas dessas dificuldades residem, em parte, no fato de estarem envolvidos múltiplos fatores na aprendizagem de ciências, tais como a experiência pessoal, a linguagem utilizada e os processos de socialização envolvidos.

Não há uma única visão sobre como se dá a aprendizagem das ciências. Algumas das visões concorrentes podem ser citadas, de acordo com Driver et al. (1999): uma delas se baseia na construção individual de significados, com foco nas várias teorias que as pessoas desenvolvem sobre a natureza e na reelaboração ou substituição dessas teorias por outras, a partir da análise de atividades práticas (essa visão era comumente chamada pelo rótulo *mudança conceitual*, termo hoje ultrapassado, havendo uma preferência pela expressão *evolução conceitual*). Outra visão descreve o processo de construção de conhecimento como consequência da imersão do aluno em discussões científicas. Já uma terceira vê esse processo como um aprendizado das práticas científicas, com uma ênfase no estudo de como os alunos usam o conhecimento informal na interação com o conhecimento científico apresentado em sala.

Mas qual é a natureza do conhecimento científico, em contraste com o conhecimento comum, dito informal? A princípio, “não existe uma única natureza da ciência” (MILLAR, 1993, apud DRIVER et al., 1999, p.2). Pode-se considerar que o conhecimento científico como *simbólico* (ou seja, os objetos científicos não são “naturais”, e sim “construções mentais” para interpretar os fenômenos naturais) e *socialmente construído* (isto é, o conhecimento científico é elaborado através de mediações sociais, que terminam por dotá-lo de certo relativismo). Ou seja, não há uma verdade absoluta em ciência.

Assim, pode-se perguntar: é menos interessante a visão que um estudante tem do cobertor como um dispositivo para “esquentar” a cama, em contraste com a visão científica do professor do cobertor como um isolante térmico que dificulta a perda de

calor? Dependendo da situação, a ideia intuitiva (porém errônea) do estudante pode se revelar produtiva, apesar da visão científica estabelecida ser muito mais completa, rica e abrangente. Temos nesse exemplo o típico contraste entre duas *concepções alternativas* para a explicação do mesmo fenômeno.

Uma parte do processo de educação em ciências se fundamenta em substituir gradativamente as ideias prévias e informais que um estudante tem sobre um tema pela abordagem científica pertinente. Essa substituição é feita a partir da construção mental dessa abordagem científica pelo indivíduo: daí a origem da nomenclatura *construtivismo*.

Dadas as dificuldades de obtenção de uma definição rigorosa para esse termo, chamamos de construtivismo a visão sustentada por Bastos et al. (2004). De acordo com o trabalho desses autores, as ideias construtivistas principais podem ser assim resumidas:

- O indivíduo não é uma folha em branco. Ele já possui elementos mentais prévios (e gradativamente construídos), tanto de conteúdo quanto de forma.

- Para que haja aprendizagem, deve haver atividade mental, pois as informações dos meios físicos e sociais não possuem significados intrínsecos: é o indivíduo que atribui significados a elas, a partir de seus esquemas mentais prévios ou construídos no processo de aprendizagem (o conceito de esquema, tão fundamental na teoria piagetiana, será discutido mais adiante).

- Esses significados evoluem naturalmente com o tempo, e essa evolução, tanto individual quanto socialmente verificada, deve ser a preocupação central de um processo de aprendizado.

As propostas de ensino construtivistas tendem a colocar uma ênfase considerável no valor de observação e de experiência direta (MORTIMER, 1996). Essa técnica se tornou popularmente conhecida como *aprendizagem pela experimentação*, e foi confundida com o uso incessante do laboratório ou de experiências práticas para o aprendizado de ciências. A importância da experimentação na técnica construtivista é inegável (o conflito cognitivo surge frequentemente a partir da realização de um experimento), mas deve-se tomar cuidado na escolha de tais experimentos. Hodson

(1994), por exemplo, apresenta uma revisão de pesquisas que demonstram que as vantagens intuitivas do trabalho experimental na construção do conhecimento científico estão longe de serem verificadas na prática.

Não é raro ouvir o nome de Piaget como sinônimo da linha construtivista que muitas instituições de ensino dizem adotar. Moreira (1999) corrobora tal afirmação: “existem outras visões construtivistas, mas o enfoque piagetiano é, indubitavelmente, o mais conhecido e influente” (p. 97).

Essa influência indissolúvel vem da teoria do desenvolvimento mental elaborada por Piaget, muitas vezes confundida com uma teoria de aprendizagem. Não consideramos que esse trabalho e a pesquisa que lhe deu origem sejam estritamente construtivistas, mas como o ideário piagetiano foi escolhido como a referência teórica pedagógica nesse trabalho, é provável que sejam percebidas inevitáveis semelhanças com pesquisas construtivistas anteriores.

2.2 – A teoria de desenvolvimento mental de Jean Piaget

Piaget é um clássico absoluto na área educacional, mas suas ideias têm abrangência também em campos como a psicologia, a sociologia e a filosofia. E é sempre temerário escrever sobre os clássicos, pois suas ideias já foram interpretadas e reinterpretadas por inúmeros autores, e sempre há o risco de afirmações errôneas virem à tona.

Piaget não concebeu, *a priori*, uma teoria de ensino e aprendizagem. Ferraciolli (1999) apresenta uma argumentação para esse fato:

Uma vez contextualizada a obra de Piaget, torna-se claro que não tem do sentido se referir a um *método pedagógico piagetiano*. Piaget não é pedagogo, não é psicólogo, e jamais formulou uma teoria de aprendizagem. Seu objetivo maior é a busca do entendimento de como o conhecimento é construído, e nesta perspectiva ele torna-se epistemólogo. A rigor, o que existe são propostas pedagógicas que utilizam as ideias de Piaget como diretrizes para uma metodologia de trabalho didático-pedagógica visando o processo de ensino-aprendizagem.

Assim, adotaremos como linhas-guia as interpretações que Moreira (1999) e Ferraciolli (op.cit.) nos apresentam sobre a obra de Piaget, quando aplicada (ou recontextualizada) ao ensino de ciências.

Ferraciolli (op.cit.), ao apresentar o pensamento piagetiano, ressalta:

Jean Piaget (1896-1980) [...], investigando sobre a relação entre organismo e o meio, passa a estudar a natureza humana. Interessa-se pela inteligência humana, que considera tão natural como qualquer outra estrutura orgânica, embora mais dependente do meio do que qualquer outra. O motivo está no fato de que a inteligência depende do próprio meio para sua **construção**, graças às trocas entre organismo e o meio, que se dão através da ação (p. 180).

Percebe-se nas palavras do autor que Piaget apresenta uma teoria para entender como se dá essa construção do pensamento, ou mais especificamente, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo. Moreira (1999) nos diz que, apesar da divisão do desenvolvimento cognitivo em fases ser o mais popular item da obra de Piaget, o “núcleo-duro” de sua teoria é a tríade *assimilação*, *acomodação* e *equilibração*, além dos conceitos de *esquema* e *conflito cognitivo*.

A *assimilação* ocorre quando o indivíduo incorpora a realidade percebida dentro de um *esquema* mental, sem modificação do mesmo. O *esquema* é um construto pessoal de técnicas mentais que permitem o entendimento do mundo (por exemplo, a resolução de equações de segundo grau através da fórmula de Báskara).

Alguns fenômenos, entretanto, não podem ser assimilados diretamente pelos esquemas prévios que o indivíduo possui. Um aluno que possua um esquema para resolver equações de primeiro grau não pode aplicá-lo diretamente na resolução de equações de segundo grau. Diz-se que, nessas situações, o esquema existente está submetido a um *conflito cognitivo*. Esse conflito só é resolvido a partir de um esforço pessoal, chamado de *acomodação*, o qual surge quando a realidade assimilada provoca modificação dos esquemas mentais do indivíduo, e permite a construção de novos esquemas de assimilação. A atividade experimental é, ao menos potencialmente, uma grande seara de conflitos cognitivos para o estudante.

Já a *equilibração* é literalmente o processo pelo qual a assimilação e a acomodação entram em equilíbrio dinâmico, pois assimilar um novo conhecimento envolve um processo de acomodação, que prepara o indivíduo para novos processos de assimilação, e assim por diante. Tais processos, evidentemente, se comportam como uma progressão geométrica que tende para um valor limite, que seria o ponto da *equilibração*. Após a *equilibração*, o esquema mental prévio não mais existe, tendo sido modificado e reforçado no processo de aprendizagem. Dessa forma, o desenvolvimento se dá por uma constante busca de equilíbrio, que significa a adaptação dos esquemas existentes ao mundo exterior (FERRACIOLLI, 1999).

Quando questionado sobre quais os fatores que influenciariam o processo de construção do conhecimento, Piaget respondeu:

Para mim, existem 4 fatores principais: em primeiro lugar, **Maturação**, uma vez que este desenvolvimento é uma continuação da embriogênese; segundo, o papel da **Experiência** adquirida no meio físico sobre as estruturas da inteligência; terceiro, **Transmissão Social** num sentido amplo (transmissão linguística, educação, etc.); e quarto, um fator que frequentemente é negligenciado, mas que, para mim, parece fundamental e mesmo o principal fator. Eu denomino esse fator de **Equilíbrio** ou, se vocês preferem, auto-regulação. (PIAGET, 1964, p. 178, apud FERRACIOLLI, 1999, p. 184).

A preocupação central de Piaget foi com a descrição e detalhamento desse processo de construção e reconstrução dos esquemas mentais (MORTIMER, 1996). Os teóricos do construtivismo deram um passo além: ideias aparentemente negligenciadas na obra de Piaget (MORTIMER, 1996) foram revisitadas, com ênfase não mais na tríade assimilação – acomodação – equilíbrio, mas na substituição de um esquema mental prévio (as *concepções alternativas*) por um esquema mental mais robusto (que seria produzido após o estudante passar pelo processo de *mudança conceitual* ou *evolução conceitual*).

2.3 – Hodson e a reconceitualização do trabalho experimental

Apesar das críticas ao trabalho experimental, apresentadas no capítulo anterior, Hodson apresenta razões significativas para o desenvolvimento de práticas experimentais com os alunos, afirmando que são poucas as pesquisas que já se preocuparam em medir a eficiência de tal recurso para o ensino de ciências (HODSON, 1994). O trabalho laboratorial supostamente apresenta algumas vantagens intuitivas: segundo o autor, os professores de ciências tendem a acreditar que o trabalho experimental pode ser útil, para: a motivação do interesse do aluno; o ensino das técnicas e métodos laboratoriais; a melhoria da aprendizagem dos conhecimentos científicos; a apresentação de noções sobre os métodos da ciência; o desenvolvimento de uma “atitude científica”, como a consideração das ideias de colegas (op. cit., 1994).

Hodson não chega a negar tais pressupostos intuitivos, mas propõe uma análise crítica sobre cada um deles, perguntando se o trabalho laboratorial realmente motiva os estudantes, se os alunos realmente adquirem técnicas laboratoriais a partir dos trabalhos escolares, se o trabalho experimental realmente ajuda na compreensão dos

conceitos científicos, qual a imagem que o aluno adquire sobre os métodos da ciência e até que ponto o trabalho prático favorece o desenvolvimento de uma “atitude científica” por parte do aluno (op. cit., 1994). A seguir, é apresentado um rápido resumo da argumentação desenvolvida pelo autor.

- *Sobre a motivação*: a maior motivação do aluno pelo trabalho experimental, especialmente em laboratório, é a chance de colocar em prática métodos mais ativos de aprendizagem, além da interação mais livre com o professor e com outros alunos, e não a chance de conduzir a investigação de um conceito científico. Em outras palavras, o estudante aprecia a atividade experimental não exatamente pela experiência a ser apresentada ou realizada, mas pela fuga do modelo tradicional de aulas expositivas.

- *Sobre o ensino das técnicas e métodos laboratoriais*: pesquisas demonstram que experiências laboratoriais didáticas não promovem a aquisição de nenhuma dessas destrezas, mesmo que o aluno tenha alguns anos de experiência com atividades em laboratório (TOOTHACKER, 1983; NEWMAN, 1985; apud op. cit., 1994). Dificuldades como leitura de instrumentos, montagem de experiências, dificuldades com construção de gráficos (incluindo suas escalas) e zeragem de instrumentos se mantiveram, apesar da prática constante.

- *Sobre a melhoria na aprendizagem dos conhecimentos e dos métodos da ciência*: é frequente que o trabalho prático individual se revele contraproducente, dando origem a um entendimento distorcido da metodologia científica.

- *Sobre o desenvolvimento de atitudes científicas*: acredita-se que os alunos, apesar de terem contato com o trabalho experimental, continuam com a visão estereotipada do cientista como um ser com características inatas, tais como a objetividade e a neutralidade.

Enfim, as ideias intuitivas sobre as vantagens didáticas dessa atividade não são corroboradas pelas pesquisas. Felizmente, Hodson apresenta as vantagens do trabalho de laboratório, e acaba nos levando a repensá-lo. Para o autor, deve ser buscada a reconceitualização das atividades experimentais. Simplificadamente, o processo de

reconceitualização do trabalho de laboratório significa a integração do mesmo dentro de um plano de ensino que vise ao ensino da ciência e dos seus métodos.

Segundo o autor, é comum que a atividade experimental seja utilizada em demasia (uma ajuda para todo e qualquer objetivo de aprendizagem) ou utilizada precariamente (pois só em poucas ocasiões se extrai o seu verdadeiro potencial). Assim, o trabalho experimental deve-se incluir em um projeto de ensino de ciências, que releve os seguintes aspectos:

- *A aprendizagem da ciência*: o trabalho experimental tende a colaborar na produção de modificações do pensamento nos estudantes. Assim, o professor deve procurar identificar as ideias prévias que seus alunos possuem sobre um assunto, e então desenvolver experimentos que funcionem como estímulos para o desenvolvimento e a possível modificação dessas ideias. Essa proposta encontra eco nas ideias de Piaget sobre a construção do conhecimento.

- *A aprendizagem sobre a natureza da ciência*: a fim de garantir que os estudantes aprendam algo sobre a natureza da ciência, o professor deve levá-los a perceber as quatro fases principais da atividade científica: a fase de *planejamento* (formulação de hipóteses, seleção de técnicas, idealização de experimentos), a fase de *realização* (coleta de dados), a fase de *reflexão* (exame e interpretação dos dados experimentais, em confronto com a teoria) e a fase de *registro* (onde é feito um “memorial” a respeito do evento, para uso pessoal e de outros interessados, incluindo a descrição do procedimento, sua teoria subjacente, os dados obtidos e as conclusões). O trabalho experimental é, sem dúvida, parte integrante desse processo, mas ele não pode ficar restrito apenas à atividade experimental em si e ao relatório da mesma. Nas palavras do autor: “Menos prática e mais reflexão” (op. cit., 1994, p. 308, tradução nossa).

- *Aprendizagem da prática da ciência*: não basta ao estudante apenas estar consciente da natureza de uma observação científica e dos métodos de experimentação. É necessário que o aluno possa compreender como a ciência dá valor a uma investigação científica, ou seja, como se coloca a ciência em prática. Para que o aluno possa alcançar esse nível de compreensão, não basta que confrontá-lo com uma demonstração prática de um fenômeno. Deve-se utilizar uma ampla gama de outras

técnicas ativas de aprendizagem, como o estudo de casos históricos, simulações, reconstruções, debates e reflexão sobre experimentos.

Assim, não faz sentido abandonar o trabalho experimental em Física, ou mesmo considerá-lo insignificante para a aprendizagem do estudante. Se reconceitualizado segundo a proposta de Hodson, a atividade experimental pode se revelar de grande valia para a construção do conhecimento por parte do estudante.

2.4 – O ideário piagetiano e a reconceitualização da atividade experimental

Resumidamente, vemos assim a relação entre nosso referencial teórico e a pesquisa aqui relatada: o uso de experimentos demonstrativos (realizados pelo professor) em sala de aula é uma situação especialmente preparada para o surgimento e posterior resolução de conflitos cognitivos. A título de exemplificação do que afirmamos, citamos a seguir uma situação presente na metodologia do nosso trabalho.

Para apresentarmos o conceito de índice de refração aos estudantes, foi apresentada inicialmente uma experiência onde esferas de policreatina (transparentes, mas visíveis no ar) eram mergulhadas em água, tornando-se invisíveis nesse meio. Os esquemas mentais prévios dos estudantes não foram, a princípio, capazes de assimilar diretamente a experiência e explicá-la, gerando um conflito cognitivo. Assim, tornou-se necessária nossa intervenção, apresentando o conceito formal de índice de refração e sua relação com a velocidade da luz na água e na policreatina. Supondo que os estudantes compreenderam a explicação do conceito, realizou-se a acomodação (a partir da resolução do conflito cognitivo introduzido pela experiência) e posterior equilíbrio (fortalecimento dos esquemas mentais). Quando perguntados em seguida sobre o porquê de certos camarões terem o corpo invisível na água mas os olhos serem negros, por exemplo, alguns alunos rapidamente responderam que o corpo desses animais tem o mesmo índice de refração da água, mas os olhos não, pois estes necessitam absorver a luz para que o animal possa enxergar.

Assim, não basta apenas apresentar a experiência aos estudantes, pois se pode correr o risco de transformá-la apenas em um evento lúdico, sem real significância no aprendizado dos estudantes. Deve-se buscar contextualizá-la, englobá-la em um

espectro mais amplo de fenômenos do que apenas a experiência em si, a fim de que os esquemas mentais saiam realmente fortalecidos após a apresentação e discussão do experimento. Nesse aspecto, vemos um paralelo com a reconceitualização do trabalho experimental proposta por Hodson. Para que o trabalho experimental tenda a colaborar na produção de modificações do pensamento nos estudantes, ele deve ser encarado como um manancial de conflitos cognitivos, mas somente com a reflexão sobre a prática experimental pode-se atingir o fortalecimento dos esquemas mentais pré-existentes.

A notória frase do artigo de Hodson, “**menos** prática e **mais** reflexão”, aponta nessa direção. Paraphraseando o autor, acreditamos que o melhor seria buscar “**mais** prática e **mais** reflexão”. A experimentação é parte inerente do processo de construção científica, e portanto deve ser utilizada com a máxima frequência possível em situações de aprendizado, mas somente se estiver subjacente a um contexto mais amplo.

No passado, acreditou-se que a prática experimental poderia induzir a mudanças conceituais no indivíduo, e esse foi um dos focos das pesquisas com viés construtivistas. Embora a mudança conceitual plena raramente seja alcançada (MORTIMER, 1996), acreditamos que a incorporação da experimentação no cotidiano didático e a reconceitualização da atividade experimental colabora, pelo menos, para uma visão mais crítica do processo de construção do conhecimento científico. Essa condição torna a experimentação uma técnica privilegiada de ensino, mais do que apenas um recurso didático, mas uma parte essencial da aprendizagem das ciências naturais.

*Faster than the speeding light she's flying,
Trying to remember where it all began.*

(Madonna, *Ray of Light*. Álbum: *Ray of light*, 1998)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Metodologia da revisão

Em sua revisão, Araújo e Abib (2003) mostram que há uma variedade significativa de possibilidades e tendências de uso da experimentação. Na literatura revisada no artigo, a experimentação é proposta e discutida de maneira bastante diversa quanto ao significado que essas atividades podem assumir, dependendo do contexto escolar. Como principais linhas de aplicação, encontram-se atividades de verificação de modelos teóricos, atividades de demonstração, atividades de observação investigativa e atividades de experimentação investigativa.

A pesquisa sobre o uso de experimentos em sala de aula, entretanto, não é homogênea em todas as áreas temáticas da Física. Atividades experimentais no ensino de mecânica são mais presentes na literatura revisada por Araújo e Abib (*Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física e Física na Escola*, entre os anos de 1992 a 2001), com a Óptica ocupando o segundo lugar na mesma lista.

Tabela 1 - Artigos sobre experimentação em Física, agrupados por área temática.

Área	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total	%
Mecânica	0	1	3	5	1	2	3	2	2	9	28	30,4
Ótica	0	0	3	1	1	1	2	4	3	6	21	22,8
Eletr. Magnetismo	0	4	1	0	0	2	2	5	2	3	19	20,7
Física Moderna	0	1	0	0	0	0	2	2	0	2	7	7,6
Calorimetria	0	2	0	1	0	0	1	0	0	0	4	4,3
Hidrodinâmica	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	4	4,3
Gases	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	3	3,3
Astronomia	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	3	3,3
Ondulatória	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	3	3,3
Total	0	9	9	9	4	5	10	17	8	21	92	100

Fonte: Araújo e Abib (2003), pág. 178.

A revisão bibliográfica apresentada no nosso trabalho foi realizada sobre artigos presentes em periódicos de ampla circulação e disponíveis gratuitamente na rede mundial de computadores. Os artigos revisados abrangem os anos de 1998 a 2008. Originalmente, optamos pelos seguintes periódicos como literatura a revisar: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física, Física na Escola, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Electrónica de Enseñanza de las*

Ciências (Espanha), *Latin-American Journal of Physics Education* (México) e *Physics Education* (Reino Unido).

Durante a realização da revisão, entretanto, percebemos que as publicações *Investigações em Ensino de Ciências*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* e *Latin-American Journal of Physics Education* não possuíam artigos ligados exclusivamente ao ensino experimental de Óptica, e portanto a revisão foi conduzida sobre os artigos coletados nos quatro periódicos restantes. Apesar dessa aparente redução nas fontes de pesquisa, acreditamos que a amplitude da revisão (mais de sessenta artigos) está adequada para os fins da nossa pesquisa.

Nossa principal preocupação durante a revisão foi a seleção de sugestões de atividades experimentais que pudessem ser utilizadas na pesquisa. No planejamento original da pesquisa, já possuíamos o material necessário para algumas das experiências que conduzimos; foi com grata surpresa que percebemos que certas experiências, já previstas para apresentação em sala de aula, estavam presentes na literatura revisada, em geral com sugestões que iam além do nosso foco inicial. Essa coincidência de interesses terminou por estimular nossa intenção de revisar o maior número de artigos possíveis, a busca de outras correlações entre a nossa prática didática e a produção acadêmica na área de ensino de Óptica.

3.2. A pesquisa em experimentação em Óptica – metodologia de classificação

A Óptica é uma área de conhecimento ampla, e seus fenômenos estão intimamente interligados ao Eletromagnetismo, à Ondulatória, à Física quântica, à relatividade e até mesmo à Mecânica, em alguns casos (como a fotografia estroboscópica de projéteis). Para os objetivos dessa revisão, nos dedicamos a categorizar apenas os artigos que tratassem de tópicos associados à natureza da luz (como aqueles voltados à formação de sombras, eclipses ou cores), reflexão, refração, difração e espalhamento. Os dois últimos fenômenos foram agrupados em uma categoria única, pois nossa proposta é apresentá-los aos estudantes em um mesmo bloco de assuntos. Artigos voltados principalmente aos fenômenos de interferência e polarização da luz não foram revisados, pois esses temas não estão presentes na nossa pesquisa.

Alguns artigos apresentaram dificuldades na caracterização: Catelli (1999), por exemplo, apresenta em seu artigo uma exposição detalhada da refração que ocorre nas lentes de retroprojetores, para depois mostrar como esses instrumentos podem ser usados em experiências de difração da luz. Nesses casos, optamos por classificar o artigo a partir de sua finalidade última. Assim, o artigo citado foi classificado como pertencente ao tema “Difração e espalhamento”. Já o artigo de Salinas e Sandoval (2000) experimentou um problema semelhante, pois se dedicava aos campos visuais de espelhos e lentes. Nesse caso, optamos por classificá-lo no tema “Reflexão”, pois um maior número de exemplos era dado para esse fenômeno. Os artigos mais controversos em termos de classificação foi o trabalho de Gircoreano e Pacca (2001) e Yurumezoglu (2009), pois as propostas dos autores incluíam cursos completos de Óptica, sendo difícil classificá-lo em apenas uma categoria. Assim, encaixamos os artigos dentro do tópico “Natureza da luz”, por sua natureza genérica. Nesse tópico também foram incluídos os textos propondo a visualização de eclipses e sua interpretação (CATCHPOLE, 2004; DIEGO, 1999; LIMA e ROCHA, 2004; SANG, 1999; SILVEIRA e SARAIVA, 2008; SIMAAN, 2004), pois o tratamento qualitativo dos eclipses é um tema sempre presente no capítulo introdutório da Óptica geométrica nos livros didáticos, logo após a apresentação da formação de sombras e penumbras.

Alguns artigos revisados não são exatamente dedicados à atividade experimental como recurso didático, mais especificamente os trabalhos de Moreira (2003), Silveira et al. (2004), Pionório et al. (2008) e Silveira e Saraiva (2008). Entretanto, esses artigos se propõem a explicar situações práticas, que poderiam ser transpostas facilmente para o cotidiano escolar através de experiências didáticas. Assim, optamos por manter tais artigos na revisão.

A tabela 2, exposta a seguir, apresenta a tabulação dos resultados encontrados, após os artigos terem sido classificados de acordo com o tópico de estudo.

Tabela 2 - Classificação dos artigos por tópico de estudo

Tema	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total
Natureza da luz		2	2	2	2	2	3		1	3	5	22
Reflexão			1	1			3	1	2	2	1	11
Refração	1	2	2	3	1		2	1	3	4	2	21
Difração e espalhamento		2	1	2	2			1		3	1	12
Total	1	6	6	8	5	2	8	3	6	12	9	66

A natureza da luz e a refração são os temas mais presentes na revisão, não exatamente por uma preferência explícita dos pesquisadores por tais assuntos, mas porque a gama de fenômenos incluídos nessas categorias é maior.

A título de ilustração, incluímos a seguir um gráfico (Fig. 1) que mostra os resultados agregados da nossa revisão (incluindo apenas os artigos retirados dos periódicos: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *Revista Brasileira de Ensino de Física* e *Física na Escola*) e a conduzida por Araújo e Abib (2003), permitindo uma análise da presença de artigos sobre experimentação em Óptica nessas fontes desde 1992 até 2008 ^[1].

¹ A discordância no número de artigos no ano de 1998 entre nossa revisão e a conduzida por Araújo e Abib ocorreu porque um dos artigos (DORNELLES, 1998) presente em sua pesquisa não foi encaixado na nossa revisão, por lidar com a interferência luminosa.

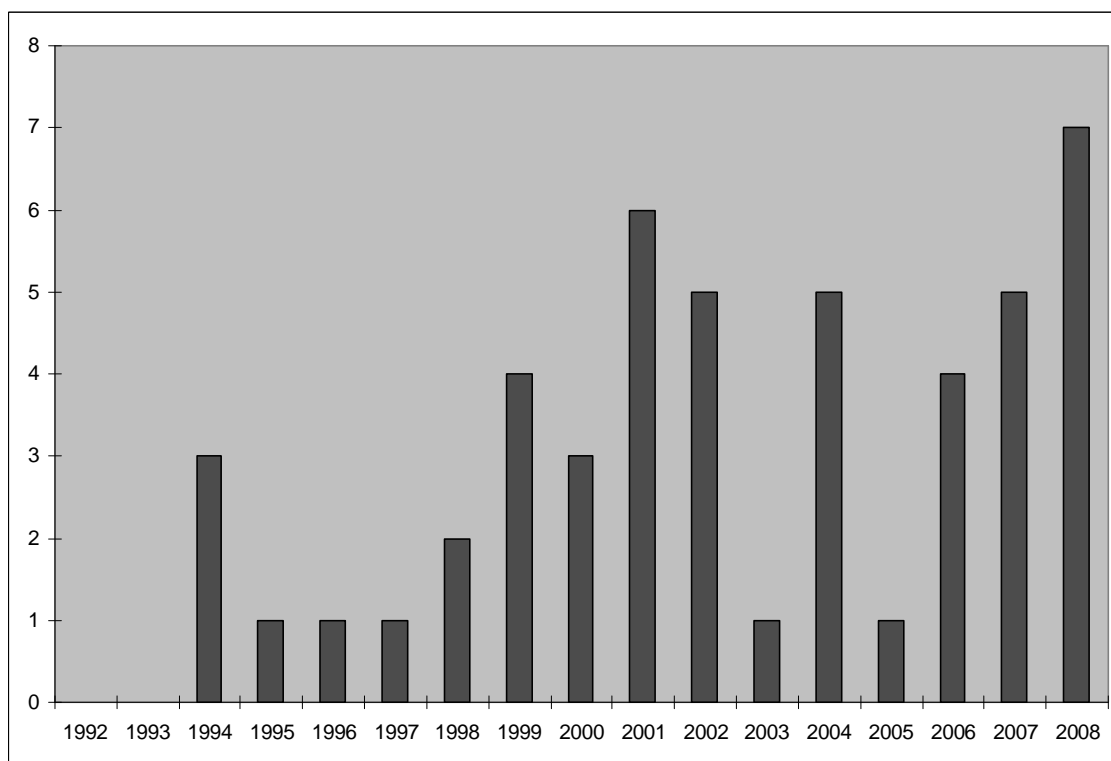


Figura 1 – Número de artigos publicados sobre experimentação em Óptica, por ano de publicação.

Analisando os dados em forma gráfica, constantes na figura 1, é possível observar um crescimento na pesquisa na área de experimentação em Óptica. Entre os anos de 1992 a 2000 (nove anos) foram publicados 15 artigos nessa área, enquanto entre 2001 e 2008 (oito anos) tivemos a publicação de 34 artigos. Daí a nossa motivação de pesquisa nessa área, e em fazermos uma revisão detalhada dos artigos que propõem sugestões de experimentos nesse tema, a fim de verificarmos as lacunas existentes em uma área onde a pesquisa tem se tornado mais intensa e regular.

3.3 - A natureza da luz

Nas obras didáticas, o primeiro capítulo de Óptica é em geral dedicado a uma rápida apresentação da natureza dual da luz, seguida dos princípios de propagação de um raio de luz (propagação retilínea, independência e reversibilidade) e a apresentação da velocidade da luz no vácuo como uma constante da natureza. Como consequências desses princípios, são normalmente citadas a formação de sombras, penumbras, os eclipses solares e lunares e a formação de imagens reais (com destaque especial para as

produzidas por câmaras escuras) e virtuais. O conceito de cor também é usualmente apresentado nesse capítulo introdutório, com o mecanismo de visão colorida dos seres humanos merecendo um maior destaque nas obras recentes (RAMALHO et al., 2007; ALVARENGA e MÁXIMO, 2005). O mesmo ocorre na literatura: um número significativo dos artigos revisados dedica-se a apresentar experiências associadas à adição de cores.

A velocidade da luz é um limite físico, em geral apresentado para os alunos durante as aulas de Óptica e refinado durante as aulas de relatividade. Mak e Yip (2000) propõem um aparato para a medição da velocidade da luz, com o uso de um apontador laser, um gerador de sinais (com base no efeito fotoelétrico) e um osciloscópio. A montagem não é complexa, mas a interpretação dos dados sim. Acreditamos que o desenvolvimento dessa experiência seria mais adequada no nível superior.

Em aulas sobre a velocidade da luz, perguntas sobre a possibilidade de se ultrapassar tal velocidade são comuns. Baune (2009) propõe um experimento simples, utilizando um apontador laser e uma base giratória, para discutir essa possibilidade e suas hipotéticas consequências principais, tais como a separação de feixes de luz ou a geração de pulsos superluminais.

A preocupação do trabalho de Gircoreano e Pacca (2001) é com a estrutura de um curso baseado nas concepções alternativas dos alunos sobre luz e visão, para tentar promover o ensino dos temas da Óptica geométrica de forma mais coerente e significativa. É claro que a superação dessas concepções passa pela experimentação, extremamente valorizada pelos autores no corpo do texto do artigo.

A consideração de que a trajetória da luz é essencialmente retilínea é fundamental para a explicação dos fenômenos da sombra e penumbra, e a eventual resolução de exercícios didáticos. Viscovini (2000) propõe um experimento com um apontador laser para a demonstração dessa propriedade. Já Moreira (2003) aproveita tal tema para responder à pergunta sobre como a sombra de um dado edifício ou torre a ser construída em área de grande densidade populacional incidirá sobre a região, trazendo ou não dificuldades de acesso à luz solar. Apesar da argumentação do artigo ser fundamentalmente teórica, Moreira propõe situações que poderiam ser facilmente transpostas para o cotidiano escolar. Sua técnica é aplicada a uma “experiência de pensamento” (uma torre na praia de Ipanema), mas a técnica poderia ser aplicada por um professor a qualquer sombra, como a projetada por um prédio próximo a sua escola,

por exemplo. Sombras e penumbras também são discutidas por Silveira e Saraiva (2008a), em seu tratamento sobre o “encolhimento” das sombras:

Quando um objeto intercepta a luz do Sol, a sua sombra sobre um anteparo diminui de tamanho à medida que aumenta a distância entre ele e o objeto. Finalmente, a uma distância grande comparada com as dimensões do objeto, a sombra deixa de existir. Apesar de o efeito ser bem conhecido no contexto da Astronomia, relacionado aos eclipses do Sol e da Lua, ele surpreende a nossa intuição quando produz silhuetas deformadas de objetos conhecidos. (p. 228)

Sombras também são a preocupação de Hughes (2009), mas com outro enfoque: a cor que uma sombra pode apresentar. O uso de uma câmera digital e de um software de edição de imagens é sugerido no artigo, confirmando que uma sombra projetada no chão em um dia de céu azul limpo tem um leve tom azulado.

Já Lima e Rocha (2004) tratam de eclipses solares e lunares em seu artigo, com um tom intencionalmente didático, típico de livros-texto, buscando apresentar um texto de referência sobre o tema para os professores. Os autores dão uma particular importância à explicação da cor avermelhada da Lua durante um eclipse lunar (essa cor é causada pelo espalhamento de Rayleigh e refração da luz solar na atmosfera terrestre). Um tratamento semelhante para o mesmo fenômeno foi posteriormente usado por Silveira e Saraiva (2008b). Os autores propõem também uma montagem experimental simples para simular eclipses em sala de aula, utilizando uma lâmpada como representação do Sol e duas bolas de isopor para a Terra e a Lua.

Algumas atividades experimentais (envolvendo sombras, por exemplo) dependem de condições atmosféricas para a sua realização. Outras são ainda mais exigentes em sua logística: propostas de experimentos a serem realizados durante eclipses solares, como as sugeridas por Diego (1999) e Sang (1999), por exemplo, só serão viáveis no Brasil em 2045. Já a condução de experimentos durante trânsitos de Vênus frente ao Sol, como as propostas por Simaan (2004) e Catchpole (2004) só serão novamente possíveis em 2117! Assim, as atividades propostas devem necessariamente passar pela reconceitualização do trabalho experimental proposta por Hodson (1994): trabalhar-se com vídeos ou fotos dos eventos, por exemplo.

Notadamente, o tópico de maior destaque na literatura revisada é a adição de cores primárias, sendo o ponto de partida dos trabalhos de Yurumezoglu (2009), Nopparatjamjomras et al. (2009), Kamata e Matsunaga (2007), Maroto et al. (2006), Costa et al. (2008), Reid (2008), Loreto e Sartori (2008) e Silva e Topa (2001). As

semelhanças entre os textos são nítidas, com diferenças mais sensíveis apenas na metodologia de trabalho. Nopparatjamjomras et al. (2009), por exemplo, propõem a construção de um dispositivo portátil construído com lâmpadas LED coloridas, presentes nas cores primárias (vermelho, verde e azul). A experiência sugerida inclui uma variação, onde um circuito elétrico é adicionado para regular a intensidade da luz emitida pelo LED verde, permitindo aos estudantes observar a variação contínua de tonalidades, desde o amarelo até o vermelho (passando por vários tons de alaranjado) ou do amarelo ao azul (com tons intermediários de ciano). Já Kamata e Matsunaga (2007) propõem o desenvolvimento de um experimento semelhante, também usando lâmpadas LED, mas seu trabalho mostra também como utilizar o conjunto de lâmpadas, em conjunto com papéis com revestimento especial, para explicar o fenômeno da fluorescência, presente em vários fenômenos cotidianos (por exemplo, a produção de luz branca a partir da absorção de luz azul) ^[2].

Em Costa et al. (2008) também encontramos o tema da superposição de feixes coloridos (vermelhos, verdes e azuis) para a demonstração da adição de cores primárias. Ao contrário do artigo de Silva (2007), dedicado às concepções teóricas sobre o conceito de luz em Física, os autores apresentam uma sugestão de construção de uma “caixa de cores” para a demonstração da adição de cores. A montagem envolve lâmpadas incandescentes coloridas, filtros, lentes, fiação elétrica, caixa de madeira, suportes metálicos e outros adereços, que tornam a sua montagem relativamente trabalhosa, apesar do baixo custo dos materiais envolvidos. A coloração das sombras e a adição de cores também são itens de preocupação para Yurumezoglu (2009), o qual propõe também a construção de um conjunto de lâmpadas coloridas dentro de uma caixa, com múltiplos propósitos. Além de identificar a adição e subtração de cores e a tonalidade de sombras e penumbras, o autor propõe métodos de uso do aparelho para o estudo da reflexão e refração.

Outra experiência também associada à adição de cores (assim como à reflexão e à refração) é a desmontagem de um projetor digital para a explicação dos princípios de seu funcionamento, proposta por Reid (2008). Apesar de extremamente instrutiva, acreditamos que essa experiência dificilmente poderá ser viável para a maioria dos professores, dado o alto custo que tais aparelhos possuem e à resistência das instituições

² Embora os autores dos artigos citados no parágrafo não façam essa sugestão, dispositivos semelhantes aos propostos nos artigos já se encontram disponíveis no comércio tradicional de iluminação.

escolares em permitir tal intervenção em seus recursos didáticos. Mas os resultados obtidos pelo autor podem ser repassados para os estudantes, através da apresentação das fotos presentes no trabalho. Uma montagem experimental ainda mais refinada é proposta por Loreto e Sartori (2008), os quais elaboram um simulador do mecanismo biofísico responsável pela visão das cores por seres humanos utilizando materiais acessíveis e de baixo custo, como multímetros, filtros e lâmpadas LED (*light emitting diode*, ou diodo emissor de luz). O aparelho simulador, entretanto, não é simples de ser construído, mas segundo os autores, permite “verificar como funciona o mecanismo de codificação e decodificação das cores”.

Um típico artefato didático em aulas introdutórias sobre cor é o disco de Newton. O tradicional disco é dividido em sete partes coloridas em vermelho, amarelo, verde, ciano, azul, violeta e magenta. A última cor está presente nesse disco, mas no espectro eletromagnético, que apresenta as frequências de forma linear, o magenta está ausente. Silva e Topa (2001) apresentam uma explicação para o fato, propondo a construção de um disco colorido onde o espectro eletromagnético é apresentado em uma espiral, em uma superposição de partes de comprimentos de onda pertencentes às áreas do vermelho e azul (as quais somadas produzem o magenta). A demonstração da adição de cores também pode ser realizada através da rápida rotação de discos de Maxwell, desenvolvidos por James Clerk Maxwell em 1857 para esse fim. O trabalho de Maroto et al. (2006) sugere que tais discos (com diferentes cores estabelecidas como "primárias") podem ser facilmente desenvolvidos em programas de edição de imagem (como o Corel Photopaint 9, usado pelos autores), impressos e depois rotacionados a 1600 rpm com o auxílio de um motor elétrico, permitindo aos estudantes a visualização dos resultados dos diferentes padrões de adição, dependendo das cores utilizadas como primárias.

Abandonando a temática da cor, o texto de Saba et al. (2002) apresenta uma sugestão interessante para fotografar eventos muito rápidos, como a explosão de uma bexiga ou a deformação de uma bola durante um chute, a partir da realização de tais eventos em uma sala absolutamente escura. A técnica é mais refinada do que parece na primeira leitura: a conexão entre o microfone e o flash independente, por exemplo, não é trivial. Entretanto, a montagem sugerida apresenta uma aplicação para as ultrapassadas máquinas fotográficas ópticas, mostrando a utilidade didática que os aparelhos ópticos do passado ainda possuem. Nas palavras dos autores:

Em uma sala escura, colocamos o evento a ser fotografado de frente para a câmera. Pressionamos o disparador da máquina, expondo o filme. Este não será sensibilizado se tivermos o cuidado de manter a sala realmente escura. Ao estourarmos uma bexiga, por exemplo, o som do estouro será captado por um microfone que, por sua vez, acionará um flash independente (externo à máquina). A luz do flash iluminará o evento que será registrado no filme. Então basta soltarmos o disparador da máquina e a foto da bexiga estourando está feita.

Já a projeção de imagens reais é o tema do artigo de Silveira e Axt (2007), que mostram que a luz filtrada através das folhas da vegetação produz círculos e elipses luminosas no chão ou em paredes, as quais são imagens reais do Sol, semelhantes às produzidas em uma câmara escura. Os eclipses do Sol, naturalmente, também podem ser observados nessas imagens.

Após a leitura da bibliografia sobre a natureza da luz, foram selecionados alguns experimentos para apresentação aos estudantes durante a pesquisa. Em particular, demos destaque à adição de cores primárias através do uso de lâmpadas coloridas, proposta por um grande número de autores, como Costa et al. (2008), Loreto e Sartori (2008), Kamata e Matsunaga (2007), Nopparatjamjomras et al. (2009), Reid (2008) e Yurumezoglu (2009). A adição a partir do uso de discos de Newton, preocupação central dos trabalhos de Maroto et al. (2006) e Silva e Topa (2001), também foi demonstrada na nossa pesquisa. A princípio, iríamos utilizar a montagem sugerida por Silveira e Saraiva (2008b) para a simulação de eclipses em sala de aula, mas não foi possível construir o modelo antes da realização da pesquisa. É interessante perceber que a adição de cores, o tema mais discutido pelos autores, raramente é discutida em sala de aula durante as aulas de Física, sendo em geral apresentada pelos professores de artes visuais. Acreditamos que a sua apresentação também em aulas de Física pode contribuir sensivelmente para a incorporação de sentido de interdisciplinaridade dos conteúdos pelos estudantes.

3.4 - Reflexão da luz

Hewitt (2002), em sua explanação sobre a reflexão e a refração da luz, afirma:

A maior parte das coisas que vemos ao nosso redor não emitem luz própria. Elas são visíveis porque reemitem a luz que incide em suas superfícies, vinda de uma fonte primária tal como o Sol ou uma lâmpada, ou de uma fonte secundária, tal como o céu iluminado. [...] Dizemos que a luz é

refletida quando ela retorna ao meio de onde veio – o processo é chamado de **reflexão**. (p.469)

Os livros didáticos de Física voltados para o ensino médio costumam dedicar, dois capítulos ao seu estudo, o primeiro dedicado ao estudo da reflexão em superfícies planas e o segundo dedicado ao estudo da reflexão em superfícies côncavas (RAMALHO et al., 2007; BONJORNO et al., 2003). Outras obras apresentam tais temas em um único capítulo (ALVARENGA e MÁXIMO, 2005; VILLAS-BÔAS et al., 2001), mas essa mesma divisão está presente nos tópicos internos do capítulo dedicado à reflexão.

Todos os artigos dedicados à reflexão luminosa apresentam sugestões de experiências de baixo custo (ou mesmo nulo) que podem ser facilmente transpostas para o cotidiano escolar. A revisão desses artigos demonstrou ainda que os autores dedicados ao estudo de experiências que envolvam a reflexão luminosa possuem uma forte preocupação com o tema da formação de imagens, tanto reais quanto virtuais, o qual possui um forte destaque nos livros-texto, mas com lacunas cobertas pelas pesquisas presentes na literatura.

Silveira et al. (2004), por exemplo, explora um tópico ausente nos livros-texto: o que exatamente é visto ao se mirar em um espelho côncavo. Os livros didáticos trazem os esquemas geométricos de formação da imagem do objeto em diferentes posições: além do centro de curvatura; no próprio centro; entre o centro e o foco; no próprio foco; entre o foco e o vértice (RAMALHO et al., 2007; BONJORNO et al., 2003; ALVARENGA e MÁXIMO, 2005; VILLAS-BÔAS et al., 2001), mas a discussão da possibilidade de visualização dessa imagem nos diferentes pontos não está presente em nenhuma das obras didáticas citadas. Silveira et al. (2004) argumentam:

Para entender aquilo que vemos em um sistema óptico, devemos incluir o olho nesse sistema. Demonstramos neste trabalho que analisar o que se enxerga em espelhos, lentes, etc., é mais complexo do que analisar as imagens conjugadas por tais sistemas sem levar em conta o olho. (p. 25)

É notório que a presença do olho influencia na visualização. O trabalho de Silveira et al. (2004) apresenta situações onde as imagens ditas invertidas ou impróprias se apresentam direitas ao observador, dependendo da posição em que o olho (analisado como uma lente convergente) esteja localizado. Uma adequada posição do olho permite a visualização de uma imagem direita e menor que o objeto, não presente entre as

possíveis imagens conjugadas por um espelho côncavo (RAMALHO et al., 2007; BONJORNO et al., 2003; ALVARENGA e MÁXIMO, 2005; VILLAS-BÔAS et al., 2001).

Já o artigo de Salinas e Sandoval (2000) apresenta também outro tema pouco discutido nos livros didáticos de Física voltados para o ensino médio. Embora a construção de campos visuais de espelhos curvos esteja presente em Hewitt (2002) em uma rápida passagem, a discussão da construção e emprego desses campos em geral se restringe ao caso particular do espelho plano (VILLAS-BÔAS et al., 2001, p. 347). Assim, os autores apresentam uma visão qualitativa, baseada nos princípios da Óptica geométrica, visando à complementação (e não a substituição) da forma quantitativa como são em geral apresentados os tópicos de construção de imagens em espelhos não-planos e lentes esféricas. A construção do campo visual por estudantes pode ajudá-los, segundo os autores, a entender a formação de imagens parciais de um objeto, situação muito frequente na vida cotidiana e não apresentada em livros-texto. Os efeitos de diafragma (redução ou ampliação do campo visual), presentes em máquinas fotográficas ou até mesmo no olho humano, também podem ser mais facilmente compreendidos com o artifício da construção de campos visuais.

Os trabalhos de Silveira e Axt (2001) e Silveira e Axt (2007) versam sobre o mesmo tema: a projeção da luz do Sol a partir do uso de espelhos planos, em especial o caso particular da projeção da imagem do Sol durante um eclipse. Silveira e Axt (2001) afirmam que, ao se refletir a luz do Sol em um anteparo apropriado, observa-se uma mancha ou uma imagem real. A partir de uma montagem apropriada, utilizando-se apenas espelhos planos, pode-se observar uma imagem real do Sol, e até mesmo projetá-lo durante um eclipse, sem risco para os observadores.

Essa discussão é bastante apropriada, pois apesar dos livros didáticos afirmarem que “nos espelhos planos, o objeto e a respectiva imagem têm sempre naturezas opostas, isto é, se o primeiro for real, o outro será virtual e vice-versa” (NEWTON et al., 2001), exemplos de imagens reais fornecidas por espelhos planos são raramente citados nos livros-texto. Silveira e Axt (2007) retomam a discussão da projeção através de espelhos planos posteriormente, afirmando:

Um pequeno espelho plano que reflete a luz do Sol em direção a uma parede distante, comporta-se como o pequeno orifício de uma câmara escura. A diferença em relação ao orifício está em que os raios luminosos ao invés de atravessarem o “orifício”, são refletidos no espelho. [...] Este procedimento pode ser utilizado para se observar os eclipses com segurança, evitando-se a necessidade de filtros para barrar a radiação ultravioleta. Além disso, se o objetivo for a simples observação visual do eclipse, um pequeno espelho plano substitui complicados procedimentos que utilizam binóculos, lunetas ou telescópios para obter uma imagem real do disco solar sobre um anteparo. (p. 358)

Já os trabalhos de Catelli e Reis (2004), Catelli e Vicenzi (2004), Keeports (2005) e Paula et al. (2007) sugerem experiências que podem ser realizadas com espelhos côncavos e convexos. De forma inusitada, três desses artigos (CATELLI e REIS, 2004; KEEPORTS, 2005; CATELLI e VICENZI, 2004) utilizam os princípios geométricos da Óptica de tais espelhos em objetos que não são citados como espelhos curvos em obras didáticas, mas no cotidiano se comportam como tais: o vidro de uma lâmpada incandescente, uma lente convergente e uma xícara.

Catelli e Reis (2004) apresentam uma experiência de custo praticamente nulo: a reflexão da luz das lâmpadas de iluminação da sala no bulbo de uma lâmpada incandescente. A formação de duas imagens (uma real e outra virtual) no interior da lâmpada demonstra a utilidade dos princípios da Óptica geométrica. Os autores descrevem o vidro que compõem o bulbo como dois espelhos, um côncavo e um convexo, e facilmente demonstram o surgimento das imagens. Esse trabalho encontra eco no artigo de Keeports (2005), o qual mostra que essas mesmas imagens, uma real e outra virtual, também são conjugadas por uma lente convergente de Fresnel retirada de um retroprojektor.

Já Catelli e Vicenzi (2004) apresentam um tratamento qualitativo da *cáustica*, a curva onde raios de luz paralelos incidentes em um espelho côncavo são projetados. O espelho côncavo utilizado é a face interior de uma xícara. Tal discussão é justificada: um tradicional livro-texto de Física, ao discutir as condições de nitidez da imagem produzida por um espelho esférico, afirma que “os raios incidentes sobre os espelhos devem ser paralelos ou pouco inclinados em relação ao eixo principal e próximos dele (raios para-axiais)” (RAMALHO et al., 2007, p. 261). A necessidade dessa proximidade é claramente demonstrada na experiência sugerida, pois a formação da cáustica após a reflexão dos raios na face interna da xícara evidencia que espelhos esféricos que obedecem as condições de Gauss são relativamente raros.

Finalmente, um grupo de artigos se dedica ao estudo de instrumentos ópticos que têm como princípio de funcionamento a reflexão luminosa, principalmente a construção pelos próprios estudantes de telescópios simples ou a confecção dos espelhos côncavos a serem usados nesses aparelhos. Nesses textos, há ênfase nos benefícios que sua construção pode trazer para o aprendizado da Óptica (BERNARDES et al., 2006) ou na utilização dos instrumentos construídos em observações astronômicas (BERNARDES et al., 2008), enquanto Paula et al. (2007) apresenta uma motivação diferente em seu artigo: o custo de espelhos parabólicos é alto, mesmo para fins didáticos. O artigo apresenta uma alternativa barata, mas não exatamente simples, para a construção de espelhos parabólicos.

Hare (2007) apresenta ainda sugestões de projetos de aquecedores solares baseados em espelhos parabólicos. As construções indicadas são de baixo custo e pequeno grau de dificuldade, envolvendo placas de madeira e espelhos plásticos que possam ser curvados no formato parabólico desejado. Se tais espelhos não estiverem disponíveis, pequenos espelhos planos (como pedaços de um espelho quebrado) ou mesmo papel alumínio são substitutos eficientes.

Entre os experimentos citados na bibliografia sobre a reflexão da luz, selecionamos alguns para demonstração em sala de aula durante a nossa pesquisa. Demos atenção particular à reflexão da luz na superfície de uma lâmpada incandescente, proposta por Catelli e Reis (2004) e correlacionada com a sugestão de Keeports (2005), além da formação da cáustica em uma xícara (utilizamos um cinzeiro, com resultados semelhantes), sugerida por Catelli e Vicenzi (2004), reforçando a conexão entre a revisão bibliográfica e a metodologia da nossa pesquisa.

3.5 - Refração da luz

Ao apresentarem a refração da luz, os livros didáticos costumam apresentar uma divisão em capítulos praticamente idêntica. Ramalho et al. (2007) a divide em três capítulos: “Refração” (capítulo 16), “Lentes esféricas delgadas” (capítulo 17) e “Instrumentos ópticos” (capítulo 18). O mesmo ocorre em Bonjorno et al. (2003) e Villas-Bôas et al. (2001). Até mesmo o nome dos capítulos é idêntico em tais obras, diferindo apenas na numeração dos capítulos.

A motivação dos autores de artigos dedicados aos aspectos predominantemente teóricos da refração não difere da presente nos artigos sobre a reflexão e seus aspectos

teóricos: o preenchimento das lacunas dos livros-texto. Ao contrário do que foi observado na revisão dos artigos dedicados à reflexão, os artigos que estudam os aspectos predominantemente experimentais da refração da luz são extremamente frequentes na literatura. Os tópicos de estudo desses últimos são variados, como o entendimento do olho humano e dos defeitos de visão (SABA e EIPHANIO, 2001; CARDOSO e MENDES, 2002; GUEDES et al., 2000), demonstrações experimentais da reflexão interna total (MENDONÇA et al., 2001), a variação do grau de convergência de uma lente com o meio no qual ela está imersa (PIMENTEL, 1999), a projeção de imagens (CATELLI e FRANCO, 2006), a invisibilidade (LABURÚ e SILVA, 2004) e a construção de lunetas de baixo custo (CANALLE e SOUZA, 2005).

Uma das dificuldades no ensino experimental da refração é a obtenção de bons instrumentos ópticos, tais como prismas, lentes, cilindros, cubos, placas, cones, entre outros. Vuolo e Furukawa (1999) apresentam uma sugestão para construção desses modelos em resina de poliéster transparente ou colorida. Segundo os autores, esse material permite visualizar as trajetórias internas de um feixe de laser emitido por um apontador. É interessante perceber que os autores apontavam o preço de apontadores laser em 1998 como cerca de US\$ 15 (op. cit., p.287). Em junho de 2009, apontadores laser de cor vermelha podem ser encontrados por preços inferiores a US\$ 2 ^[3], demonstrando a drástica redução de preço dessa tecnologia e sua acessibilidade.

A refração é explicada no ensino médio a partir da lei de Snell-Descartes. Para o correto entendimento da lei de Snell, é crucial o conceito de índice de refração. Esse conceito é discutido por Farkas et al. (2006). Os autores apresentam três métodos experimentais para a determinação do índice de refração, sem a necessidade de relações geométricas, iluminação especial ou instrumentos ópticos de medida. Os métodos incluem o uso de paralaxe e de linhas de visão sobre objetos colocados abaixo de uma lâmina transparente de faces paralelas e a medida do tamanho aparente de um objeto imerso em um líquido, quando comparado com o tamanho real.

Já Wong e Mak (2008) sugerem que a medição do índice seja feita da maneira tradicional (a passagem de um laser por um recipiente e a medida do seu desvio), e sugerem um aparato de construção complexa (incluindo um recipiente semicilíndrico plástico, uma roda metálica giratória e um apontador laser) para essa função. Apesar das

³ Preço obtido em http://cgi.ebay.com/Powerful-Red-Laser-Pen-Pointer-LED-Flashlight-Light-409_W0QQitemZ270397543226QQihZ017QQcategoryZ14954QQssPageNameZWDVWQQrdZ1QQcmdZViewItem. Acesso em 09 de junho de 2009.

dificuldades para a construção da aparelhagem, a concordância com os resultados apresentados em obras de referência e a qualidade dos experimentos demonstrados (a tradicional refração, o ângulo de incidência crítica e a reflexão total) parecem premiar o esforço do experimentador. Um razoável grau de acurácia na medida do índice de refração também é atingido no experimento proposto por L´evesque (2000), que utiliza técnica de elipsometria para a medida do índice de refração de lâminas finas. A técnica utiliza princípios da interferência luminosa, combinada com a reflexão interna total, e não será descrita aqui por não ser pertinente ao trabalho presente.

Uma consequência da igualdade do índice de refração entre dois meios é a invisibilidade de um meio em relação ao outro (por exemplo, o desaparecimento de um bastão acrílico em tetracloroetileno). Entretanto, Laburú e Silva (2004) mostram que nem sempre essa igualdade é necessária para a invisibilidade, ao revisarem a explicação de porque uma garrafa de vidro cheia de glicerina desaparece em um recipiente também cheio de glicerina. Uma escolha adequada das dimensões desse recipiente já é suficiente para o desaparecimento, o qual não ocorre em recipientes cujas dimensões sejam muito superiores que aquelas encontradas na garrafa.

A lei de Snell é usada não só para explicar a refração, mas também a reflexão total interna, fenômeno que merece atenção especial devido às suas várias aplicações práticas, que vão desde sua utilização em instrumentos ópticos até os mais modernos sistemas de telecomunicações. Esse efeito muitas vezes parece mágico para o aluno, que o vê apenas como um resultado matemático. Mendonça et al. (2001) propõem um conjunto de demonstrações experimentais para ilustrar o efeito de reflexão total interna e algumas de suas aplicações, como a demonstração da reflexão total em um semicírculo de acrílico, em prismas e em tubos de acrílico que simulam fibras ópticas, a fim de demonstrar para os estudantes as aplicações da refração.

Outra importante aplicação da refração é na compreensão de fenômenos naturais, tais como o arco-íris e os halos atmosféricos (círculos formados ao redor do Sol e da Lua em condições específicas). Uma simulação do segundo fenômeno é apresentada por Gisl´en e Mattsson (2007). Os halos artificiais são produzidos por cristais microscópicos suspensos em uma solução aquosa, os quais são iluminados por um pincel de luz divergente (tal como a luz solar ou refletida pela lua). A montagem permite a medida dos raios dos círculos produzidos, assim como a medida do ângulo de dispersão, permitindo a comparação com os valores experimentais para os halos

atmosféricos. Os resultados alcançados são bastante próximos dos presentes na literatura.

Nas obras didáticas, o estudo das lentes é em geral iniciado com a relação entre a geometria da lente (bordas finas ou grossas) e seu comportamento óptico (convergente ou divergente). Como nas situações cotidianas é rara a existência de uma lente cujo índice de refração seja menor que o meio que a envolve, as lentes de bordas finas tendem a se comportar convergentes. Mas em meios com maiores índices de refração, tais lentes tornam-se divergentes. Pimentel (1999) utiliza um apontador laser, o bulbo de uma lâmpada comum (lente), glicerina e um aquário retangular com água. Enchendo-se a lâmpada com glicerina (cujo índice de refração é maior que a água) ou deixando-a preenchida apenas com ar (índice de refração menor que a água), pode-se mostrar a trajetória do laser, convergindo ao passar da glicerina para a água e divergindo ao passar do ar para a água.

O folclore sobre as lentes convergentes inclui o fato de tais instrumentos poderem ser usados para convergir a luz do sol ou outras fontes de luz em um ponto focal, produzindo uma elevação da temperatura e conseqüente combustão do material presente nesse ponto. Catelli e Franco (2006) detalham as condições em que uma imagem real pode “queimar” o local de projeção, e apresentam uma experiência simples: a combustão de papel escuro (ou outros objetos) com um retroprojektor. A luz emitida por esse instrumento é fortemente concentrada em um ponto, com um aumento considerável da temperatura, inclusive com risco potencial de queimaduras.

Já Carlin et al. (2007) discute os limites da “aproximação de lente fina” (ou delgada), a qual é comumente utilizada nas obras didáticas voltadas para o ensino médio. Utilizando uma notação matricial cuja transposição didática é complexa, os autores demonstram que mesmo para lentes ditas “didáticas”, a aproximação de uma lente real por uma lente delgada (ou seja, de espessura desprezível) pode se revelar errônea, como os resultados experimentais obtidos pelos autores demonstram.

Outro fenômeno citado em livros-texto, mas nem sempre discutido a contento, é a aberração cromática, presente também no estudo das lentes. Hewitt (2002) nos diz que “a aberração cromática resulta da luz de cores distintas, que possuem diferentes velocidades de propagação e, portanto, sofrem refrações diferentes na lente” (p. 487). A correção das aberrações cromáticas é fundamental para que fotografias, por exemplo, tenham a qualidade necessária para grandes ampliações. Em Pionório et al. (2008), vemos que os autores se preocupam em mostrar que, com uma combinação adequada de

lentes (nominalmente, um sistema constituído por duas lentes convergentes afastadas de uma distância conveniente ou um sistema constituído por uma lente convergente e outra divergente, justapostas), é possível eliminar ou minimizar a aberração cromática.

Já Canalle e Souza (2005) apresentam uma aplicação prática para as lentes: a construção de uma luneta de baixo custo que “permite ver as crateras lunares e seu relevo, principalmente quando observada durante as noites de lua crescente ou minguante” (p.127). Na construção do instrumento, usa-se apenas uma lente de óculos (vergência igual a 1 ou 2 dioptrias) como objetiva e um visor de máquina fotográfica como ocular (divergente). A simplicidade da sugestão experimental dos autores torna bastante plausível a sua aplicação em sala de aula. São raros tais projetos em livros didáticos.

Ainda mais simples (e econômica) é a sugestão de Myint et al. (2001) para a construção de um microscópio didático, a partir do uso de uma lente constituída de gotas de água, convenientemente aprisionadas em um anel metálico, dentro de um recipiente plástico que impeça a evaporação. Os autores mostram ainda que esse microscópio permite a obtenção de microfotografias de boa qualidade, com o uso de uma câmera fotográfica comum, e propõe sua utilização em países em desenvolvimento, devido ao baixo custo do aparato (cerca de três dólares). Outro microscópio didático de baixo custo, mas já envolvendo lentes (retiradas de máquinas fotográficas descartáveis), é proposto por Vannoni et al. (2007). O microscópio proposto tem uma resolução superior ao anterior, permitindo a observação de objetos de até 16 μm de tamanho.

Silveira e Axt (2006) complementam ainda outra típica lacuna presente nos livros didáticos quando as lentes são estudadas: o fato do olho (encarado como uma lente convergente) raramente ser levado em conta no estudo dos processos de formação de imagens reais e virtuais. Os autores desenvolvem seu raciocínio a partir de uma pergunta que poderia surgir em sala de aula: se para certas posições do objeto (entre o foco e a lente) uma lente convergente conjuga uma imagem direita, e para outras (além do foco) uma imagem invertida, há uma descontinuidade perceptível quando o objeto passa de uma região para a outra? Através de argumentos geométricos, os autores demonstram que não: na verdade, o observador percebe uma imagem direita (ou seja, captada como invertida na retina) nas duas situações.

Os livros didáticos costumam apresentar o olho humano como um instrumento óptico (RAMALHO et. al., 2007; BONJORNO et al., 2003), o que nos parece inconveniente, por ser o olho parte essencial do processo de visão. O reducionismo

geométrico acaba reduzindo o olho a uma mera lente convergente de distância focal variável. Os artigos revisados buscam corrigir essa distorção. Percebe-se uma preocupação em comum para tais autores: a simulação ou compreensão dos processos biológicos que acontecem no globo ocular. Saba e Epiphanyo (2001), por exemplo, propõem a dissecação de um olho bovino para a melhor compreensão da estrutura do globo ocular e do seu funcionamento. Possivelmente, essa atividade pode ser realizada em conjunto com um professor de biologia, como uma tentativa de maior diálogo entre os conteúdos dessas disciplinas.

Cardoso e Mendes (2002) já apresentam uma experiência bastante simples (usando um copo de água e uma vela) para simular o astigmatismo, problema de visão extremamente frequente na população e raramente discutido em livros didáticos. Já o artigo de Guedes et al. (2000) apresenta outra experiência, a construção de um simulador didático do cristalino. A realização da experiência é um pouco mais complexa (envolvendo mangueiras e uma bolsa de água), mas simula adequadamente a contração e distensão do cristalino. Em um trabalho posterior (GUEDES et al., 2001), os autores apresentam aplicações do simulador didático do cristalino na reprodução dos principais defeitos de visão (miopia, hipermetropia e astigmatismo). De acordo com o método proposto, a dinâmica do simulador não só permite reproduzir os defeitos visuais, mas também suas correções, através do uso de lentes de geometrias e distâncias focais apropriadas (op. cit., 2001). Por sua vez, Colicchia (2007) apresenta uma sugestão de construção de um simulador da visão de um peixe, quando este é exposto ao ar ^[4], a partir de vasilhas plásticas transparentes. O modelo permite concluir que os peixes são "míopes" quando expostos ao ar, só sendo capazes de focalizar objetos próximos ao seu globo ocular.

O processo de visão e sua correlação com o mecanismo de formação de imagens em lentes é a fonte de inspiração para o artigo de Farkas et al. (2004). A partir de uma atividade experimental extremamente simples (a determinação do ponto cego da retina de cada aluno), os autores trabalham conceitos como a incerteza das medidas e a medição indireta. O processo de visão também ocupa papel de destaque no trabalho de Warren et al. (2003). Nesse trabalho, os autores propõem uma atividade baseada em um mero tabuleiro de xadrez impresso em uma folha de papel para determinarem o poder de

⁴ A motivação do autor para essa simulação partiu da existência de peixes anfíbios, os quais gastam parte do seu ciclo de vida fora da água.

resolução visual de um indivíduo. Os próprios autores reforçam que a atividade é de baixo custo e facilmente adaptável às mais diferentes condições do cotidiano escolar (op. cit., 2003). Já Saba e Epiphanyo (2001), na tentativa de compreender o processo de visão, propõem a dissecação de um olho bovino para a melhor compreensão da estrutura do globo ocular e do seu funcionamento, com ênfase na análise das propriedades ópticas da córnea, cristalino, íris e humor vítreo.

Dentre as experiências revisadas na bibliografia sobre a refração da luz, realizamos em sala de aula principalmente as propostas por Mendonça et al. (2001), mas com adaptações significativas: enquanto os autores usaram um projetor de slides e um obstáculo com uma fenda para produzir um feixe de luz relativamente colimado, as experiências que foram conduzidas na nossa pesquisa foram realizadas com apontadores laser, hoje muito mais acessíveis que na época da conclusão do artigo dos autores. Demos também atenção ao artigo de Laburú e Silva (2004), versando sobre a invisibilidade: evitamos fazer a experiência proposta pelos autores e fizemos uma adaptação da mesma, usando esferas de policreatina (polímero hidrófilo de mesmo índice de refração da água) para a apresentação do fenômeno da invisibilidade. O uso de um retroprojetor em sala permitiu a realização específica do experimento citado por Catelli e Franco (2006), onde usamos o ponto de formação de uma imagem real para queimar um papel escuro no local de projeção, e apresentamos também com esse instrumento a aberração cromática, discutida por Pionório et al. (2008), produzida pela lente de Fresnel presente no retroprojetor. Percebemos uma forte conexão entre os autores e as situações cotidianas de sala de aula: algumas das experiências, principalmente as sugeridas por Mendonça et al. (2001), já eram de nosso conhecimento antes da leitura do artigo.

3.6 - Difração e espalhamento da luz

Nos livros didáticos, a reflexão e a refração são usualmente tratadas nos capítulos dedicados à Óptica geométrica, enquanto a difração, a interferência e a polarização da luz são estudadas após a apresentação inicial da ondulatória. Já o espalhamento de Rayleigh, fundamental para a explicação de importantes fenômenos cotidianos (a cor azulada do céu e da íris humana, por exemplo) não está presente em nenhum dos livros didáticos consultados (RAMALHO et al., 2007; BONJORNIO et al., 2003; ALVARENGA e MÁXIMO, 2005; VILLAS-BÔAS et al., 2001).

A difração ocorre quando a luz atravessa fendas ou se desvia de obstáculos de mesma ordem de grandeza do seu comprimento de onda. Já o espalhamento de Rayleigh acontece quando as partículas que interagem com a luz têm um tamanho muito menor do que o comprimento de onda da luz, que é o caso das moléculas de oxigênio (O_2) e nitrogênio (N_2) da atmosfera terrestre (SILVEIRA e SARAIVA, 2008b). Os artigos revisados apresentam técnicas experimentais para demonstrar esses fenômenos aos estudantes, ou interpretações que podem ser feitas de fenômenos naturais a partir da sua compreensão.

Uma dificuldade para o estudo experimental da difração é a disponibilidade reduzida de redes de difração de boa qualidade. O trabalho de Kalinowski et al. (2001) tenta minimizar essa dificuldade, ao descrever os resultados da produção didática de redes de difração utilizando uma técnica fotográfica elementar, ao alcance da maioria dos laboratórios de Física no ensino médio. De acordo com os autores, as redes obtidas por estudantes nesse nível de ensino são adequadas para a realização de diversos experimentos de difração e discussão de conceitos em ótica, com até 350 linhas por centímetro. Os autores ressaltam ser possível utilizar redes de difração obtidas a partir de CDs e montar pequenos espectroscópios individuais a partir dessas redes. A técnica proposta pelos autores (realizada a partir de fotografias de uma matriz periódica do tipo “claro-escuro”, sendo a rede obtida por redução ótica na objetiva) é mais trabalhosa, mas permite redes de maior qualidade.

Um efeito que pode ser visualizado usando-se uma rede de difração didática é discutido por Vollmer (2005). O autor discute o efeito da rotação da rede de difração sobre a projeção formada, mostrando que o efeito não é trivial, pois o ângulo de rotação da rede não é acompanhado pelo ângulo de rotação dos máximos de difração projetados. Já Springham (2000) apresenta uma montagem com um apontador laser associado a um rotor, em conjunto com redes de difração, para a observação de fenômenos de difração e interferência.

É interessante perceber que Springham, que era professor em Cingapura à época da publicação de seu artigo, propõe a construção do aparato experimental como uma alternativa a produtos já existentes no mercado que permitem analisar esses fenômenos, mas cujo custo é elevado. Assim, a principal preocupação da sugestão experimental é a minimização de custos, extremamente comum nos artigos oriundos de experiências brasileiras. Laburú e Lopes (2001) também colocam o custo de redes de difração como proibitivo em seu trabalho, e utilizam a técnica de difração de um feixe laser por

obstáculo (um fio de cabelo) com o objetivo de determinar o diâmetro deste, propondo também o uso de telas de serigrafia como substitutos adequados a redes de difração, no estudo da difração do laser em fendas. Por outro lado, Costa (2007) propõe a utilização de um CD (*compact-disc*) do qual tenha sido retirada a película refletora como rede de difração. A partir da difração de um feixe laser por um CD, pode-se determinar a distância entre as trilhas do mesmo. Se a experiência for repetida com um DVD, a distância encontrada será menor, devido à maior capacidade de armazenamento desse disco.

A mesma técnica é usada por Silva e Muramatsu (2007), que propõem fazer a luz difratada por um CD (novamente sem película refletora) passar por um recipiente com água ou outro líquido, com conseqüente alteração da posição dos máximos de difração, permitindo a medida do índice de refração do líquido utilizado e a discussão da alteração do comprimento de onda da luz em diferentes substâncias. Já Catelli (1999) sugere o uso de um disco CD e um retroprojetor. A diferença básica da técnica descrita por Catelli e a proposta por Costa é o uso do CD como uma rede de reflexão, usando-o como se ele fosse um espelho, projetando a luz emitida pelo retroprojetor em uma parede. Essa técnica permite obter um espectro de primeira ordem nítido e com pouca distorção, sendo possível identificar até a segunda ordem deste (CATELLI, 1999).

Catelli e Vicenzi (2002) também sugerem o uso de um apontador laser para a medida de dimensões dos mais variados objetos: fios de cabelo, orifícios em papel alumínio, telas de serigrafia, discos de vinil, trilhas de CDs, lâminas de barbear e até bigodes de gato ^[5] e penas de galinha! É interessante perceber que a preocupação inicial dos autores era a adaptação de um apontador para tais experiências, as quais demandam um feixe laser fixo, de alta potência e que tenha uma razoável duração. Os apontadores laser disponíveis no mercado na época em que o artigo foi publicado (2002) não possuíam essas características, por serem alimentados por pequenas baterias que se esgotavam rapidamente. O artigo propõe então uma modificação no apontador, para que ele pudesse ser utilizado com pilhas pequenas. Entretanto, à época da realização da nossa pesquisa (2008), já era fácil encontrar no mercado apontadores de cor vermelha de baixo custo, alimentados por pilhas, o que torna a proposta dos autores desnecessária. O preço dos apontadores laser nas cores verde e azul, também tem caído sistematicamente, tornando-os mais acessíveis.

⁵ Os autores não chegam a dizer como obtiveram bigodes de gato ou penas de galinha, mas acreditamos que nenhum animal tenha sido ferido durante a pesquisa.

A proposta de Galli e Salami (1999) envolve não somente a observação da difração da luz em obstáculos e fendas, como proposto por Catelli e Vicenzi (2002), mas o seu registro em papel fotográfico preto e branco das figuras obtidas. A montagem é relativamente simples (a figura de difração é projetada em um papel fotográfico usado como anteparo). A principal condição para bons resultados da experiência é uma sala absolutamente escura ou iluminada apenas por luz vermelha, semelhante às utilizadas para revelação de filmes fotográficos.

Redes de difração são também os principais componentes de espectrômetros, aparelhos de custo relativamente alto no Brasil. Na hipótese de um aparelho estar disponível, sua utilização para a determinação da temperatura da superfície solar e dos elementos químicos lá presentes é a proposta de Johansson et al. (2007).

A carência de transposições didáticas para o espalhamento de Rayleigh provavelmente serviu como fonte de inspiração para o artigo de Krapas e Santos (2002). O estudo de Lord Rayleigh em 1871 sobre o fenômeno “levou ao desenvolvimento de uma lei geral para a intensidade da luz espalhada aplicável a qualquer partícula de índice de refração diferente daquele do meio no qual está imerso” (op. cit., 2002). O mais importante resultado desse estudo é a dependência de intensidade do espalhamento com o inverso da quarta potência do comprimento de onda. Assim, a luz azul é três vezes mais espalhada pelas moléculas de nitrogênio e oxigênio da atmosfera que a luz vermelha (SILVEIRA e SARAIVA, 2008b). Esse fenômeno explica a cor azulada do céu, o pôr-do-sol avermelhado e a variação de cores da lua durante sua trajetória no céu ou mesmo durante eclipses (op. cit., 2008). Krapas e Santos (2002) propõem a simulação da formação do céu azul e do pôr-do-sol, baseando-se na produção de espalhadores de luz em uma solução aquosa (água contendo uma solução de hidróxido de sódio, na qual se goteja ácido sulfúrico diluído), e a discussão e extrapolação do resultado com os estudantes. Segundo os autores:

Do ponto de vista didático, a modelagem do céu azul e do pôr-do-sol avermelhado tem como vantagem atingir níveis de audiência diversificados. Assim como pode ser explorada nos seus detalhes mais íntimos no reduto da educação formal, seja em aulas de laboratório ou de demonstração, é possível sua apropriação em redutos de educação não formal [...], dado seu potencial motivacional (op. cit., 2002).

Acreditamos que a discussão da difração e do espalhamento não pode ser ignorada. Na ausência de tempo, propomos o sacrifício de outras partes do conteúdo

(como a equação dos pontos conjugados), dado o potencial de aprendizagem que a explicação de fenômenos tão cotidianos pode trazer.

Assim, selecionamos na literatura revisada sobre a difração e o espalhamento alguns experimentos para apresentação aos estudantes. Em particular, demos particular atenção aos trabalhos de Laburú e Lopes (2001), mostrando a difração de um feixe laser por um fio de cabelo (essa experiência foi repetida duas vezes). Também foi apresentada a sugestão de Costa (2007), usando um CD e um DVD como redes de difração, e também o experimento proposto por Catelli (1999), onde o CD é usado para difratar a luz do retroprojeto. Para a apresentação do espalhamento de Rayleigh, adaptamos a experiência de Krapas e Santos (2002). Essas experiências foram, de forma geral, extremamente surpreendentes e motivantes para os estudantes. Vários alunos, posteriormente, relataram ter realizado as mesmas experiências em suas residências, mostrando a aproximação entre a pesquisa em ensino de ciências e o cotidiano do estudante.

*And everything under the sun is in tune,
but the sun is eclipsed by the moon.
There is no dark side of the moon really:
Matter of fact, it's all dark.*

(Pink Floyd, *Eclipse*. Álbum: *The dark side of the moon*, 1973)

4. METODOLOGIA

4.1 – O contexto escolar

A pesquisa foi realizada em uma escola de ensino infantil, fundamental e médio, situada no Setor Central do Gama, cidade satélite da cidade de Brasília/DF. A escola atua com o ensino médio apenas no turno matutino (com aulas eventuais no turno vespertino e aos sábados), fundamental do 1º ao 9º ano (matutino e vespertino) e infantil (matutino e vespertino).

A estrutura física das salas de aula da escola é adequada à condução de aulas, tanto expositivas quanto experimentais, apesar da má ventilação de algumas delas. O único recurso didático presente nas mesmas era o quadro de giz, e várias cores de giz disponíveis, até mesmo tons diferentes da mesma cor. No ensino médio, havia no ano de 2008 (quando foi realizada a pesquisa), duas turmas de cada série do ensino médio, caracterizadas pelas tradicionais denominações “1ºA”, “1ºB”, “2ºA”, “2ºB”, “3ºA” e “3ºB”.

A escola contava apenas com um laboratório de Biologia, relativamente precário em equipamentos, e pouco utilizado pelos professores devido a essa característica (durante a época de realização da pesquisa, tal laboratório estava sendo usado parcialmente como almoxarifado e depósito). As experiências realizadas durante a pesquisa foram executadas nas próprias salas de aula.

A má ventilação desses ambientes era causada por um número pequeno de janelas (apenas duas por sala) e de tamanho reduzido. Essa desvantagem se revelou um trunfo para as aulas no grupo experimental: a facilidade com que a sala poderia ser reduzida à quase completa escuridão, facilitando a visualização das experiências por parte dos alunos. O rastro deixado por um apontador *laser* quando sua luz atravessa o pó de giz, por exemplo, é de difícil visualização em ambientes que não possam ter sua luminosidade natural ou artificial bastante reduzida.

4.2 - Caracterização da amostra

As duas turmas escolhidas para o desenvolvimento da pesquisa foram o 2ºA (composto de 42 estudantes) e o 2ºB (composto de 40 estudantes), pois no Distrito

Federal é comum que a Óptica seja inicialmente apresentada no segundo ano do ensino médio, pois esse conteúdo faz parte dos objetos de avaliação do Programa de Avaliação Seriada (PAS) da Universidade de Brasília. De forma aleatória, o 2ºA foi escolhido como grupo experimental, e o 2ºB como grupo de controle.

Ambas as turmas permaneceram praticamente inalteradas na transição do 1º ano (cursado em 2007) para o 2º ano (cursado em 2008), devido à política da escola de reforço da socialização com o grupo já formado, com a exceção de alguns estudantes que foram transferidos da escola, três novos alunos por sala (transferidos de outros colégios) e três estudantes repetentes distribuídos nos dois grupos. Ambos os grupos podiam ser descritos como relativamente calmos e participativos (nem todos os alunos eram igualmente participativos, evidentemente).

As duas turmas eram bastante homogêneas entre si, principalmente com relação ao rendimento em Física. Um levantamento feito pela direção da escola em 2007, ano anterior à realização da pesquisa, revelou que a média geral de ambas as turmas na disciplina diferia em 0,2 pontos (máximo de 10), com vantagem para o 2ºB, escolhido como grupo de controle. Os alunos, em sua grande maioria, moravam na própria cidade onde se localiza a escola. Suas condições sócio-econômicas não foram aferidas na pesquisa, para evitar constrangimento perante a direção da escola. Informalmente, os estudantes podem ser incluídos na classe média.

A relação de ambas as salas conosco foi bem próxima do ideal: a título de exemplo, nenhum aluno foi retirado de sala por motivos disciplinares (ou outros quaisquer) ao longo da condução da pesquisa, que se estendeu por quase um semestre.

Na escola, durante o ano de 2008, a disciplina de Física possuía três aulas semanais em todas as séries do ensino médio. Essas aulas eram divididas entre dois professores, em duas frentes distintas de abordagem. No segundo ano, possuíamos duas aulas semanais, chamadas de “aulas duplas”, por serem conjugadas. Essa situação foi intencionalmente requerida à coordenação do ensino médio para viabilização da pesquisa, e foi prontamente atendida. Ficamos responsáveis pela apresentação dos tópicos de Óptica e Ondulatória, enquanto a Termologia era conduzida independentemente por um segundo professor.

A Óptica ocupou os meses de fevereiro a junho, em ambas as turmas. A ondulatória foi apresentada no segundo semestre, após alguns complementos de Óptica, especificamente o estudo mais detalhado dos instrumentos ópticos e dos problemas de

visão. Os temas discutidos nessas aulas complementares não foram incluídos na nossa pesquisa.

As aulas do primeiro semestre se iniciaram após o Carnaval, no dia 11 de fevereiro, e o primeiro semestre se encerrou dia 27 de junho. De um total de vinte sextas-feiras, três não foram realizadas devido aos feriados e recessos. Outras três datas foram utilizadas pela escola para fins de avaliação, e o último dia de aula correspondeu à gincana escolar. O professor também esteve afastado por uma semana por motivos de saúde. Assim, a Óptica foi apresentada em 12 semanas, em aulas duplas de 100 minutos (com intervalos conduzidos pelo professor, para que os alunos – e o próprio professor - pudessem relaxar durante as atividades desenvolvidas).

O livro didático adotado foi a obra *Física: história & cotidiano: Terminologia, Óptica, Ondulatória e Hidrodinâmica*, de autoria de Bonjorno e Clinton. Esse é o segundo volume da coleção dos autores. Não fomos os responsáveis pela escolha do livro: a obra foi inicialmente adotada na escola no final de 2006, para os alunos do ano letivo de 2007. Essa escolha ocorreu antes da nossa relação profissional com a escola ter início (iniciamos nossa passagem pelo colégio em fevereiro de 2007). Assim, por recomendação da coordenação, fomos levados a adotar a mesma obra para o ano seguinte (2008), pois o colégio favorecia a revenda dos livros usados nos anos anteriores, inclusive com uma feira de livros usados no início do primeiro semestre.

O livro-texto foi utilizado em sala de aula principalmente como um arcabouço de exercícios didáticos. Alguns alunos do grupo experimental, no decorrer das aulas, comparavam as experiências realizadas em sala com fotos semelhantes presentes no livro didático.

4.3 – Descrição das atividades

Nossos doze encontros com as turmas foram realizados na sequência apresentada a seguir. Ao longo do semestre, foram feitas algumas alterações no planejamento original de condução das aulas, pois nas datas de 14 de março, 25 de abril e 13 de junho, foram aplicadas avaliações na escola (tanto de Física quanto de outras disciplinas); nas datas de 21 de março, 02 de maio e 23 de maio não houve atividades na escola, devido a feriados ou recessos; no dia 06 de junho, estivemos afastados por motivos de saúde; e no dia 27 de junho não houve aula devido à realização da gincana escolar.

Denominamos de Grupo experimental a turma 2^oA, composta de 42 alunos. Nessa turma, a apresentação do conteúdo foi conduzida sempre a partir de experiências motivadoras, apresentadas ao longo de toda a aula. As aulas no grupo experimental sempre ocorreram logo após o intervalo, no quarto e quinto horários (de um total de seis), entre 10h20 e 12h.

Já a turma 2^oB, composta de 40 alunos, foi chamada de Grupo de controle. Nessa turma, as aulas foram totalmente expositivas. Nenhuma atividade experimental foi exposta ou proposta aos estudantes dessa turma. As aulas nesse grupo experimental ocorreram no segundo e terceiro horários, entre 8h20 e 10h.

Procurou-se que a sequência de apresentação do conteúdo durante as aulas fosse a mais idêntica possível, com a diferença da presença ou não de experiências sobre o tema. Por exemplo, na aula sobre dispersão da luz, foi feito um relato sobre a experiência da dispersão da luz com um prisma, realizada por Isaac Newton, no início das duas aulas, e em seguida a experiência foi desenhada no quadro. No grupo experimental, essa experiência foi conduzida em sala após esse desenho, e perguntas foram feitas aos alunos sobre ela, sempre buscando que o experimento não ficasse restrito apenas ao seu caráter lúdico, mas que os estudantes adquirissem uma maior compreensão da atividade científica a partir da atividade experimental demonstrativa motivadora, com vistas à reconceitualização do mesmo segundo a proposta de Hodson. No grupo de controle, foram feitas as mesmas perguntas, mas tomando somente o desenho como apoio. Já nas aulas destinadas à realização de exercícios didáticos, os mesmos exercícios foram resolvidos em ambas as turmas.

Na primeira aula em cada turma, foi aplicado um pré-teste (Anexo 1) para a verificação do conhecimento prévio que os alunos possuíam em Óptica. O pré-teste continha catorze questões objetivas de quatro itens (nomeados *a*, *b*, *c* e *d*). Todos os enunciados das questões foram retirados da obra de Hewitt (2002), mas os textos presentes nos itens foram criados por nós.

Além das questões, o pré-teste continha várias ilusões de óptica retiradas de sítios diversos na internet (Anexo 3), para que os alunos se sentissem mais motivados a respondê-los. Afinal, é difícil convencer um estudante que um teste aplicado no primeiro dia de aula não irá prejudicá-lo no seu rendimento escolar, e as ilusões de óptica funcionariam como um elemento motivador para que ambos os grupos se aplicassem no teste. O teste poderia ser levado pelo aluno, após o professor anotar os resultados em um gabarito de condensação de respostas (Anexo 4). Os alunos

receberam uma pontuação extra nas notas bimestrais por terem realizado o pré-teste e o pós-teste, independentemente do índice de acertos em qualquer um dos testes.

Nenhum aluno dos dois grupos estava ausente na data estipulada do pré-teste. O mesmo se repetiu no pós-teste, e nenhum estudante foi inserido ou retirado das suas respectivas turmas, ao longo do primeiro semestre de 2008, momento de condução da nossa pesquisa.

Após a apresentação do conteúdo ao longo das dez aulas seguintes, distribuídas ao longo de mais de quatro meses, foi aplicado um pós-teste (Anexo 2) em ambos os grupos, contendo as mesmas questões do pré-teste. As questões do pré-teste e do pós-teste eram idênticas, mas as ilusões de óptica foram retiradas no pós-teste (as ilusões não possuíam relação com os conteúdos cobrados nos testes, e portanto não alterariam a capacidade de resposta dos estudantes). Novamente, as respostas dos alunos foram anotadas em um gabarito de condensação de respostas.

Os testes cobravam conhecimentos sobre a natureza da luz, a reflexão, a refração, a difração e o espalhamento de Rayleigh. Os tópicos dedicados exclusivamente ao estudo dos principais instrumentos ópticos e ao detalhamento dos problemas de visão não foram discutidos no primeiro semestre, tanto por falta de tempo hábil quanto por não pertencerem ao tema da pesquisa conduzida. As aulas sobre tais temas foram conduzidas no segundo semestre, de forma semelhante em ambas as turmas, e não foram incluídas na pesquisa.

4.4 – A reconceitualização da atividade experimental como estratégia de ensino

A atividade experimental é usualmente descrita como um dos múltiplos recursos para a aprendizagem de ciências. Além dela, outros recursos de ensino usuais que podem ser citados são o uso de computadores, a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), a utilização de metáforas e analogias, dentre outras. Defendemos que a atividade experimental se difere das outras técnicas didáticas por não ser apenas um recurso instrumental: a experimentação é parte inerente do processo de construção científica. Não se pode pensar em ciência sem experimentos, especialmente nas ciências da natureza.

Essa relação íntima entre a ciência e a experimentação torna praticamente compulsória o seu uso como técnica didática. Entretanto, deve-se tomar cuidado com o

uso indiscriminado de experimentos em sala de aula. Uma demonstração prática tem, usualmente, um inegável caráter lúdico e motivador, e não se deve negar essa propriedade, mas sim explorá-la, reconceitualizá-la. Só faz sentido a utilização de um experimento em sala de aula se ele possuir uma inequívoca função pedagógica, que contribua para a geração de conflitos cognitivos e sua posterior resolução, com o fortalecimento dos esquemas mentais do estudante como o foco principal do sistema de aprendizagem.

O trabalho que desenvolvemos no grupo experimental incluiu essa preocupação. Reconceitualizar as experiências, a nosso ver, significa incluí-las em um contexto amplo, que as apresenta como parte do processo de construção do conhecimento científico, ao invés de encará-las como meros eventos lúdicos.

Nossa opção por atividades experimentais de caráter demonstrativo se deveu, em parte, à velocidade que desejávamos imprimir à exposição do conteúdo e às dificuldades logísticas que possuíamos, incluindo a falta de um ambiente adequado para a condução de múltiplas experiências ao mesmo tempo. Ademais, por termos adquirido os materiais necessários para a realização das experiências demonstrativas com recursos próprios, sem contar com uma contrapartida financeira por parte da escola, a aquisição de maiores quantidades dos materiais necessários se tornou monetariamente inviável.

Acreditamos ainda que o detalhamento das aulas conduzidas no grupo experimental nessa seção do trabalho se tornaria maçante, pelo contínuo retorno ao referencial teórico de suporte, sendo possivelmente melhor absorvida como uma proposta de aplicação da metodologia de aprendizagem proposta. Assim, preferimos incluir a descrição detalhada das aulas no grupo experimental como o produto final desse trabalho, o qual está presente no Anexo 7, em formato eletrônico. Nesse produto, é mostrado com mais detalhes como nossa técnica didática está conectada ao referencial teórico adotado, enquanto na seção presente é feito apenas um relato resumido das atividades e experiências conduzidas.

4.5 - Aulas conduzidas no Grupo Experimental e no Grupo de Controle

Nos tópicos a seguir, encontram-se resumidas as atividades desenvolvidas. A diferença fundamental entre as duas aulas residiu na presença de experimentos no grupo experimental, enquanto no grupo de controle elas não foram realizadas.

Procurou-se que estabelecer a mesma sequência de apresentação do conteúdo em ambos os grupos, inclusive no tempo gasto na apresentação do conteúdo, mas houve uma “sobra” de tempo de aula no grupo de controle, quando comparado com o grupo experimental. Esse tempo foi utilizado na resolução de exercícios didáticos, principalmente.

A princípio, as aulas conduzidas no grupo experimental podem não parecer muito diferentes das aulas expositivas tradicionais. Assim, torna-se obrigatória a descrição de como tais situações didáticas se inserem nos três pilares da reconceitualização do trabalho experimental proposta por Hodson (aprendizagem da ciência, da natureza da ciência e da prática da ciência) e na teoria de desenvolvimento cognitivo de Piaget. As argumentações e interpretações expostas são baseadas em anotações que fizemos durante o desenvolvimento da pesquisa.

4.5.1 - Aula 1 (15 fev. 2008) – Apresentação e aplicação do pré-teste

A primeira aula foi dedicada apenas à aplicação do pré-teste. Não foi estipulado o tempo máximo que os alunos poderiam gastar na realização do pré-teste. A grande maioria deles, entretanto, terminou o pré-teste em pouco mais de quarenta minutos. O restante da aula foi dedicado a convencer os alunos da importância de participação na pesquisa, contudo os procedimentos metodológicos que seriam usados não foram detalhados. Foi-lhes garantido o total anonimato, e a pedido da direção da escola, o nome da instituição também foi mantido em sigilo, para que os resultados da pesquisa não possam vir a ser mal interpretados. Essa aula foi repetida, sem mudanças significativas, no grupo de controle.

É interessante observar que os estudantes ficaram muito curiosos, e ao mesmo tempo apreensivos, ao saber que seriam participantes em uma pesquisa acadêmica. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, entretanto, o grupo de controle naturalmente tomou conhecimento do fato de que uma metodologia bastante diversa estava sendo utilizada no grupo experimental, e naturalmente protestaram contra tal “injustiça”. Após alguma argumentação sobre a importância dessa metodologia para a pesquisa, foi acordado com os alunos que as mesmas experiências e discussões seriam realizadas no grupo de controle, após o término da pesquisa. Esse acordo foi cumprido integralmente: já na aula dedicada à aplicação do pós-teste, após a entrega dos testes pelos estudantes, já iniciamos a apresentação dos experimentos no grupo de controle.

4.5.2 - Aula 2 (22 fev. 2008) – Natureza dual da luz, luz e sombra

Em ambas as salas, a aula foi iniciada com um questionamento sobre a natureza da luz, com apresentação de duas opções: partícula ou onda. Questionou-se também sobre a necessidade ou não da presença de luz para que um objeto seja visualizado. Apresentou-se a modelo da propagação retilínea da luz, com a sua aplicação aos conceitos de sombra e penumbra, especialmente no estudo dos eclipses.

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 01:** direcionamento de um apontador laser, com espalhamento de pó de giz sobre a trajetória da luz, com a visualização de um rastro.
- **Atividade experimental demonstrativa 02:** difração da luz emitida por um apontador laser ao passar por um fio de cabelo.
- **Atividade experimental demonstrativa 03:** “Sala do Nada”, conforme sugerido por Gircoreano e Pacca (2001).
- **Atividade experimental demonstrativa 04:** projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por uma vela.
- **Atividade experimental demonstrativa 05:** projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por duas velas.

4.5.3 - Aula 3 (29 fev. 2008) – Fundamentos da Óptica: cor

Foi feito um relato sobre o contexto em que Newton realizou suas experiências, especialmente a célebre experiência do prisma. Discutiu-se o modelo da luz branca, apresentando-a como a mistura de “todas as cores” e da “cor negra” como resultado da ausência de luz. Realizou-se um questionamento se todas as cores seriam necessárias para que o olho humano visualize a cor branca. Discutiu-se a adição de cores, com a apresentação das “equações” para adição das cores, além da diferença entre cor-luz e cor-pigmento.

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 06:** dispersão da luz branca, utilizando um retroprojektor e um prisma de acrílico, com projeção do espectro em um anteparo.
- **Atividade experimental demonstrativa 07:** uso de um disco de Newton didático para a somatória de cores.
- **Atividade experimental demonstrativa 08:** adição das cores primárias, usando três lâmpadas, nas cores vermelha, verde e azul.
- **Atividade experimental demonstrativa 09:** adição de cores usando sombras de objetos opacos.
- **Atividade experimental demonstrativa 10:** adição de cores em uma base plástica, contendo quatro lâmpadas diferentes: vermelha, verde, azul e amarela. Visualização do efeito resultante sobre objetos acrílicos, coloides e silicone.

4.5.4 - Aula 4 (07 mar. 2008) – Reflexão: fundamentos e espelhos planos

Foram discutidos fenômenos onde a reflexão da luz está presente, e em seguida apresentada a lei da reflexão, com uma argumentação a seu favor a partir do princípio de Fermat. Apresentou-se a ideia de prolongamento de raios e a construção geométrica da imagem virtual. Foram também mostrados os desenhos explicativos da associação de espelhos em ângulo, além da expressão para o cálculo do número de imagens formadas.

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 11:** reflexão da luz em um espelho plano, com o uso de pó de giz para visualização da trajetória.
- **Atividade experimental demonstrativa 12:** reflexão especular (espelho limpo) e difusa (espelho molhado com um aspersor) da luz em um espelho plano.
- **Atividade experimental demonstrativa 13:** incidência de dois feixes de laser em um espelho plano, paralelos ou divergentes.
- **Atividade experimental demonstrativa 14:** “Teatro” com duas alunas para mostrar as propriedades de uma imagem em um espelho plano.
- **Atividade experimental demonstrativa 15:** Rosto refletido em um espelho de bolso, conforme sugerido por Hewitt (2002).

- **Atividade experimental demonstrativa 16:** múltiplas reflexões de um feixe laser em dois espelhos planos, com a produção de múltiplas imagens.

4.5.5 - Aula 5 (28 mar. 2008) – Reflexão da luz: espelhos esféricos

Foram apresentados os três tipos de espelhos: côncavo, plano e convexo (no grupo experimental, esses espelhos foram mostrados aos estudantes, e no grupo de trabalho foram apenas desenhados no quadro). A seguir, foram discutidos os pontos de interesse geométrico dos espelhos esféricos (centro, foco e vértice). Foi exposto o conceito de foco real e virtual, para que os principais raios notáveis pudessem ser apresentados e a construção de imagens usando tais raios fosse possibilitada.

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 17:** apresentação da cáustica em uma xícara, conforme sugerido por Catelli e Vicenzi (2004).
- **Atividade experimental demonstrativa 18:** determinação do foco de um espelho côncavo usando dois feixes laser paralelos (convergentes após reflexão no espelho) e pó de giz.
- **Atividade experimental demonstrativa 19:** demonstração da divergência de raios paralelos incidentes em um espelho convexo presente em uma embalagem de perfume.
- **Atividade experimental demonstrativa 20:** reflexão da luz em um espelho convexo, apresentando os anéis de Newton formados devido às irregularidades da superfície (resultantes da interferência luminosa entre os raios refletidos).
- **Atividade experimental demonstrativa 21:** formação da imagem real, invertida e menor no espelho côncavo, usando uma lâmpada externa à sala, distante do espelho.
- **Atividade experimental demonstrativa 22:** formação da imagem real, invertida e maior no espelho côncavo, usando a chama de uma vela.
- **Atividade experimental demonstrativa 23:** apresentação de uma imagem real não projetada, conjugada a partir da associação de dois espelhos côncavos.

- **Atividade experimental demonstrativa 24:** Formação de duas imagens no bulbo de uma lâmpada incandescente, conforme sugerido por Catelli e Reis (2004).

4.5.6 - Aula 6 (04 abr. 2008) – Reflexão da luz: exercícios

Esse encontro foi dedicado à resolução de exercícios do livro-texto. O acordo com a direção da escola para a condução da pesquisa previa que os métodos de abordagem do conteúdo poderiam ser diferentes, mas pelo menos os exercícios realizados deveriam ser os mesmos, porque o conteúdo das provas bimestrais seria baseado nestes últimos. Todos os exercícios didáticos que foram escolhidos para resolução em sala estiveram presentes em exames vestibulares do país.

Os exercícios foram pedidos como tarefa de casa, com uma semana de antecedência, e corrigidos em sala nesse encontro. Nem todos os alunos fizeram a tarefa, como o cotidiano escolar sempre demonstra. Outros simplesmente copiaram a tarefa de colegas, fato facilmente demonstrado pela repetição de certos erros ou raciocínios em várias questões. Nossa percepção informal foi, a princípio, de uma relativa igualdade entre os grupos experimental e de controle no acerto da resolução dos exercícios pedidos.

Os exercícios resolvidos nesse encontro estão apresentados no Anexo 5. Nessa seção, além do enunciado e da resposta, apresentamos uma argumentação para as razões didáticas que nos levaram à escolha de tais exercícios, além da percepção informal que tivemos sobre o grau de dificuldade dos exercícios, a partir das respostas dadas pelos alunos aos mesmos.

Preferencialmente, optamos por exercícios mais conceituais, pois mesmo no grupo de controle a discussão dos temas da Óptica não foi realizada com ênfase nos seus aspectos algébricos. Alguns exercícios envolvendo aspectos numéricos ou literais foram escolhidos ainda assim, para o reforço desses aspectos nos esquemas mentais dos estudantes.

4.5.7 - Aula 7 (11 de abril de 2008) – Refração e reflexão total da luz

Apresentou-se o conceito de índice de refração. Argumentou-se então a favor da lei de Snell, sem uma dedução formal da mesma, através do princípio de Fermat. Em

seguida, foi apresentado o conceito de ângulo limite e sua relação com a reflexão total, para a qual foram dados vários exemplos práticos, como a reflexão total em pedras preciosas, a fibra óptica, o espelhismo e a miragem.

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 25:** desvio de um feixe de luz laser ao passar por um dióptro (o ar e a água presentes em uma garrafa).
- **Atividade experimental demonstrativa 26:** desaparecimento de um bastão de acrílico imerso em tetracloreto de carbono.
- **Atividade experimental demonstrativa 27:** desaparecimento de esferas de policreatina na água.
- **Atividade experimental demonstrativa 29:** reflexão total em um bastão de acrílico (modelo para a fibra óptica).
- **Atividade experimental demonstrativa 30:** espiral formada pela luz ao sair do bastão de acrílico.
- **Atividade experimental demonstrativa 31:** abajur de fibra óptica.
- **Atividade experimental demonstrativa 32:** reflexão total em um bastão curvo.
- **Atividade experimental demonstrativa 33:** reflexão total e múltiplas refrações de um feixe laser em uma peça de vidro lapidado imersa no ar, com o formato de um diamante.

4.5.8 - Aula 8 (18 de abril de 2008) – Prismas e dispersão da luz branca

Apresentou-se com mais detalhes a teoria corpuscular de Newton e a sua concorrente histórica, a teoria ondulatória da luz de Huygens. Ambas foram então aplicadas na explicação da dispersão da luz branca por um prisma, com consequente projeção de um arco-íris. Foi questionado se haveria um arco-íris invisível, e discutiu-se então a ideia de “luz invisível”, em especial o infravermelho e o ultravioleta. A explicação da dispersão foi usada então para elucidar fenômenos cotidianos, como o arco-íris, a aberração cromática em lentes e a cor branca das nuvens.

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 06:** dispersão da luz emitida por um retroprojektor com o uso de um prisma de acrílico.
- **Atividade experimental demonstrativa 34:** dispersão da luz em esferas de policreatina.
- **Atividade experimental demonstrativa 35:** aberração cromática na lente de Fresnel do retroprojektor.

4.5.9 - Aula 9 (09 de maio de 2008) – Lentes e Óptica da visão

Foram apresentados os principais tipos de lentes esféricas (convergentes, divergentes) e tóricas (correção do astigmatismo). Após a discussão da existência ou não de focos reais em tais lentes, foram apresentados os conceitos de vergência e a técnica de justaposição de lentes. Em seguida, foram demonstradas as principais construções geométricas que explicam a formação de imagens a partir do uso de lentes esféricas, com uma rápida discussão dos instrumentos ópticos onde elas estão presentes e dos problemas de visão que podem ser corrigidos a partir do uso das mesmas (miopia e hipermetropia, seguidas de uma rápida exposição sobre o astigmatismo).

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 36:** trajetória de dois feixes laser ao passarem por lentes convergentes e divergentes.
- **Atividade experimental demonstrativa 37:** combustão de papel preto colocado no foco de uma lente de Fresnel, usando o retroprojektor, conforme sugerido por Catelli e Franco (2006).
- **Atividade experimental demonstrativa 38:** formação e projeção da imagem real (maior e menor que o objeto), com o uso de uma lente convergente.
- **Atividade experimental demonstrativa 39:** uso de lentes de óculos para mostrar a divergência e a convergência dos raios, com o uso de um retroprojektor.

4.5.10 - Aula 10 (16 de maio de 2008) – Refração (exercícios)

Esse encontro foi dedicado à resolução de exercícios do livro-texto, todos eles presentes em exames vestibulares nacionais. Os exercícios escolhidos versaram sobre temas como a refração, a formação da imagem virtual no dioptra, a reflexão total e suas aplicações, a diferença entre lentes convergentes e divergentes, entre outros. Os exercícios didáticos escolhidos para resolução em sala foram pedidos como tarefa de casa, com uma semana de antecedência. Os exercícios, suas respostas, uma breve argumentação sobre o porquê da sua escolha e nossa percepção informal sobre sua aplicabilidade estão presentes no Anexo 7.

Infelizmente, esse encontro foi fortemente prejudicado, pois vários alunos foram retirados de ambas as salas para reuniões que diziam respeito à preparação da gincana do colégio, além de uma das aulas no grupo experimental ter sido dedicada ao momento cívico da escola. Assim, as discussões sobre os exercícios foram extremamente rápidas e superficiais, não permitindo que formássemos um quadro claro e preciso da compreensão dos fenômenos refrativos por parte dos estudantes.

4.5.11 - Aula 11 (30 de maio de 2008) – Difração e espalhamento

Foram apresentados os conceitos de difração e espalhamento, de forma puramente qualitativa, e sua relação com fenômenos cotidianos como a cor azulada do céu, a cor avermelhada do sol no poente, as cores exibidas por reflexão em um CD, a cor alaranjada da Lua no início da sua trajetória pelo céu, as cores do Sol e da Lua quando estão a pino.

No grupo experimental, foram realizadas também as seguintes atividades:

- **Atividade experimental demonstrativa 02:** Difração da luz emitida por um apontador laser ao passar por um fio de cabelo (repetição).
- **Atividade experimental demonstrativa 40:** Difração da luz emitida por um apontador laser em um CD e um DVD, sem película refletora, conforme sugerido por Costa (2007).
- **Atividade experimental demonstrativa 41:** Projeção do espectro da luz do retroprojetor usando o CD, conforme sugerido por Catelli (1999).

- **Atividade experimental demonstrativa 42:** uso de uma lanterna e aquário com água e leite para mostrar o espalhamento da luz. Adaptação da sugestão de Krapas e Santos (2002).

4.5.12 - Aula 12 (20 de junho de 2008) – Aplicação do pós-teste

Esse último encontro foi dedicado à aplicação do pós-teste, anotação das respostas dos alunos no gabarito de condensação de respostas e apresentação das respostas do teste aos alunos. Em seguida, discutiu-se com os alunos os aspectos gerais da percepção que eles tiveram sobre a pesquisa.

Em uma análise informal (não coletada na forma de dados), acreditamos que o grupo experimental achou a pesquisa mais proveitosa, pois o grupo de controle não foi exposto a aulas muito diversas das tradicionalmente conduzidas no ambiente escolar. Esse último grupo chegou a exibir alguns sinais de protesto por não ter sido escolhido como o grupo experimental, e um aluno perguntou qual critério havia sido usado na escolha. Respondemos que a escolha foi aleatória, sendo decidida literalmente pelo lançar de uma moeda. Ainda nesse encontro, já iniciamos a exposição das experiências junto ao grupo de controle, conforme havia sido combinado com os estudantes, fato que pareceu ter colaborado para que os sinais iniciais de protesto fossem finalmente mitigados.

*Tonight, the super trouper lights are gonna find me
Shining like the sun.*

(ABBA, Super Trouper. Álbum: Super Trouper, 1980)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Metodologia da análise dos resultados

A metodologia usada nesse trabalho baseou-se em um grupo experimental e outro de controle. Encontramos em Almeida e Moreira (2008) uma definição precisa dessa metodologia e as vantagens de sua utilização em salas de aula:

Tecnicamente, o delineamento foi quase-experimental do tipo grupo de controle (comparação) não equivalente. Este delineamento é o de número 10 da tipologia clássica de Campbell e Stanley (1963, apud. ALMEIDA e MOREIRA, 2008). [...] Trata-se de um dos delineamentos mais difundidos na pesquisa educacional compreendendo um grupo experimental e outro de controle, dos quais ambos respondem um pré-teste e um pós-teste, porém, não possuem equivalência pré-experimental de amostragem. Ao contrário, ambos os grupos constituem entidades formadas naturalmente [...], tão similares quanto a disponibilidade o permita, ainda que não tanto que se possa prescindir do pré-teste. A designação do tratamento X a outro grupo é aleatória e controlada pelo pesquisador. [...] A diferença entre este delineamento (quase-experimental) e um experimental é a não aleatoriedade na formação dos grupos. Além de reconhecer que este delineamento é muito usado na prática [...], reconhecem também que a agregação de um grupo de controle não equivalente reduz em grande parte as ambiguidades que decorreriam de um delineamento de um só grupo com pré e pós-teste. Dizem ainda que quanto mais similares sejam, na formação, os grupos experimental e controle e que quanto mais se confirme essa similaridade nos escores do pré-teste tanto mais eficaz resulta o controle de variáveis que possam, além do tratamento, explicar diferenças no pós-teste.

Para o tratamento estatístico dos dados, optamos pelo uso do teste "t de Student" para amostras independentes, conforme sugerido por Barbetta (2002). Todos os testes foram realizados utilizando as ferramentas de análise presentes na planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2003.

O tratamento estatístico foi realizado para cada questão do pré e pós-teste. Em cada questão, foram realizados quatro "testes t": o *teste A* foi aplicado às médias dos resultados do grupo experimental no pré e pós-teste; o *teste B* às médias dos resultados do grupo de controle no pré e pós-teste; o *teste C* aos resultados obtidos no pré-teste inicial pelos dois grupos, a fim de verificar a equivalência desses grupos; e o *teste D* aos resultados obtidos no pós-teste pelos dois grupos. Como hipóteses para os testes A e B, utilizamos a sugestão de Barbetta (op.cit., p. 226):

- H_0 : em média, os testes produzem os mesmos resultados; e
- H_1 : em média, os testes produzem resultados diferentes.

Designando por N_1 a nota média dos alunos do grupo experimental e por N_2 a nota média dos alunos do grupo de controle, podemos escrever:

$$H_0: N_1 = N_2 \quad \text{e} \quad H_1: N_1 \neq N_2$$

Para os testes C e D, utilizamos a sugestão de Almeida e Moreira (2008):

- H_0 : em média, os grupos experimental e de controle são equivalentes; e
- H_1 : em média, os grupos experimental e de controle não são equivalentes.

Nesses testes, nosso objetivo é mostrar qual o nível de significância para o qual podemos rejeitar a hipótese nula. Em outras palavras, uma significância estatística de 0,01, por exemplo, nos diz que podemos rejeitar a hipótese nula com chance de erro de 1%.

Nos testes A e B, o resultado desejado envolve uma baixa significância estatística, numericamente falando. Espera-se, entretanto, que seja conseguida uma significância estatística no teste A consideravelmente menor que no teste B. Por exemplo, se a significância no teste A for igual a 0,01 e no teste B igual a 0,30, poderemos dizer que no primeiro grupo (experimental) o método aplicado teve eficácia para o crescimento da nota do grupo, com chance de erro de 1%. Já para o segundo grupo (controle), o crescimento também teria ocorrido, mas a alta chance de erro (30%) nos aponta que fatores acidentais podem ter contribuído para essa nota, demonstrando que o método de demonstrações experimentais em sala de aula traz vantagens para os alunos que as assistem.

Já para o teste C, que compara as notas obtidas pelos grupos experimental e de controle no pré-teste, esperamos um nível de significância alto, pois esperamos a confirmação de que os grupos sejam estatisticamente equivalentes no início da pesquisa. Por exemplo, um nível de significância de 0,50 nesse teste só nos permitiria dizer que os grupos não são equivalentes com uma margem de erro de 50%, extremamente alta. Em uma situação dessas, teríamos que aceitar a hipótese nula como verdadeira e dizer que os grupos são equivalentes no início da pesquisa.

Finalmente, para o teste D, onde comparamos as notas obtidas pelos grupos experimental e de controle no pós-teste, espera-se um nível de significância baixo, pois esperamos a confirmação de que os grupos não sejam estatisticamente equivalentes ao

final da pesquisa. Assim, se o nível de significância obtido for 0,05, poderemos dizer que os grupos não são equivalentes após a condução dos métodos de ensino diversos, com chance de erro de 5 %. Assim, poderemos direcionar a análise de resultados para o fato das demonstrações experimentais terem contribuído para o aprendizado dos estudantes do grupo experimental, com baixa chance de erro. Mais especificamente, rejeitar a hipótese nula nesse teste significa considerar inválida a igualdade entre os grupos após a exposição às diferentes técnicas didáticas, com probabilidade de erro igual à significância estatística (ALMEIDA e MOREIRA, 2008).

A seguir, apresentamos a análise estatística dos resultados obtidos nas questões. Após o enunciado da questão, mostramos graficamente os resultados obtidos pelo grupo experimental e pelo grupo de controle, em seguida a tabulação dos resultados dos quatro testes estatísticos realizados e finalmente a discussão dos resultados. Os gráficos apresentam o número de estudantes que marcou cada alternativa como correta, enquanto as tabelas apresentam o tratamento estatístico das respostas. Para a realização desse tratamento, atribuiu-se o valor 10 à resposta correta e valor nulo às incorretas.

Consideramos importante frisar que apesar dos dados gerados pela análise estatística serem de natureza quantitativa, o simples fato de termos analisado individualmente cada uma das questões forneceu um caráter qualitativo à nossa análise dos resultados.

5.2 – Análise da questão 01

Um amigo lhe diz, em um tom profundo, que a luz é a única coisa que somos capazes de ver. Seu amigo está correto?

- a) **Sim. (resposta correta)**
- b) Não.
- c) Parcialmente correto.
- d) Não sei.

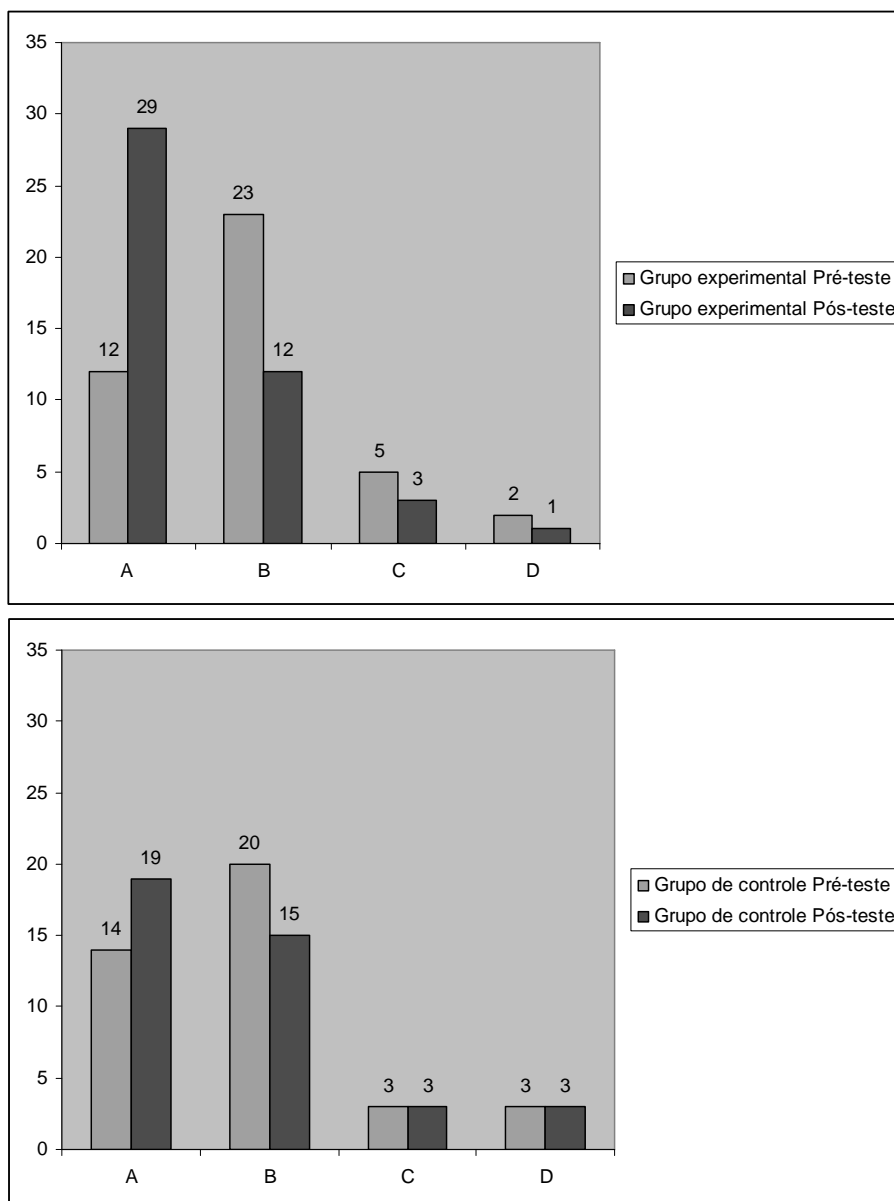


Figura 2 - Resultados obtidos para a questão 01

Tabela 3 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 01

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,85	20,91	4,01	3,89	0,0002
		Pós-teste	6,90	21,89			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	3,50	23,33	1,13	1,04	0,30
		Pós-teste	4,75	25,57			

Tabela 4 - Resultados do *teste C* e do *teste D* para a questão 01

<i>Etapa</i>	<i>Grupo</i>	<i>Alunos</i>	<i>Médias</i>	<i>Variâncias</i>	<i>Teste t</i>	<i>T crítico bi-caudal</i>	<i>Significância estatística</i>
Pré-teste (<i>teste C</i>)	Experimental	42	2,85	20,90	0,61	0,60	0,55
	Controle	40	3,50	23,33			
Pós-teste (<i>teste D</i>)	Experimental	42	6,90	21,89	2,00	1,99	0,05
	Controle	40	4,75	25,57			

Os testes A e B mostram um crescimento no acerto das respostas em ambos os grupos entre o pré-teste e o pós-teste. Entretanto, o crescimento no grupo experimental tem erro muito menor (significância de 0,0002 contra 0,30). A partir do teste C, confirmamos que os grupos são equivalentes, com 55% de significância. O teste D também mostra que o grupo experimental foi beneficiado pela técnica de aprendizagem a partir da experimentação, com 5% de erro. A figura 2 também aponta para esses resultados: em uma inspeção dos dois gráficos apresentados, constata-se um crescimento superior para o grupo experimental.

Acreditamos que a Atividade experimental demonstrativa 01 (direcionamento de um apontador laser, com espalhamento de pó de giz sobre a trajetória da luz) e a Atividade experimental demonstrativa 03 (“Sala do Nada”) contribuíram para que os estudantes do grupo experimental adquirissem a percepção da necessidade de luz para a visualização de um objeto, enquanto os integrantes do grupo de controle permaneceram com a ideia intuitiva da visão como um processo dependente apenas da existência de um aparelho visual (globo ocular).

5.3 – Análise da questão 02

Com que velocidade as ondas de rádio se propagam?

- a) Próxima à velocidade do som.
- b) Próxima à velocidade da luz. (correta)**
- c) Superior à velocidade da luz, no vácuo.
- d) Inferior à velocidade da luz, no vácuo.

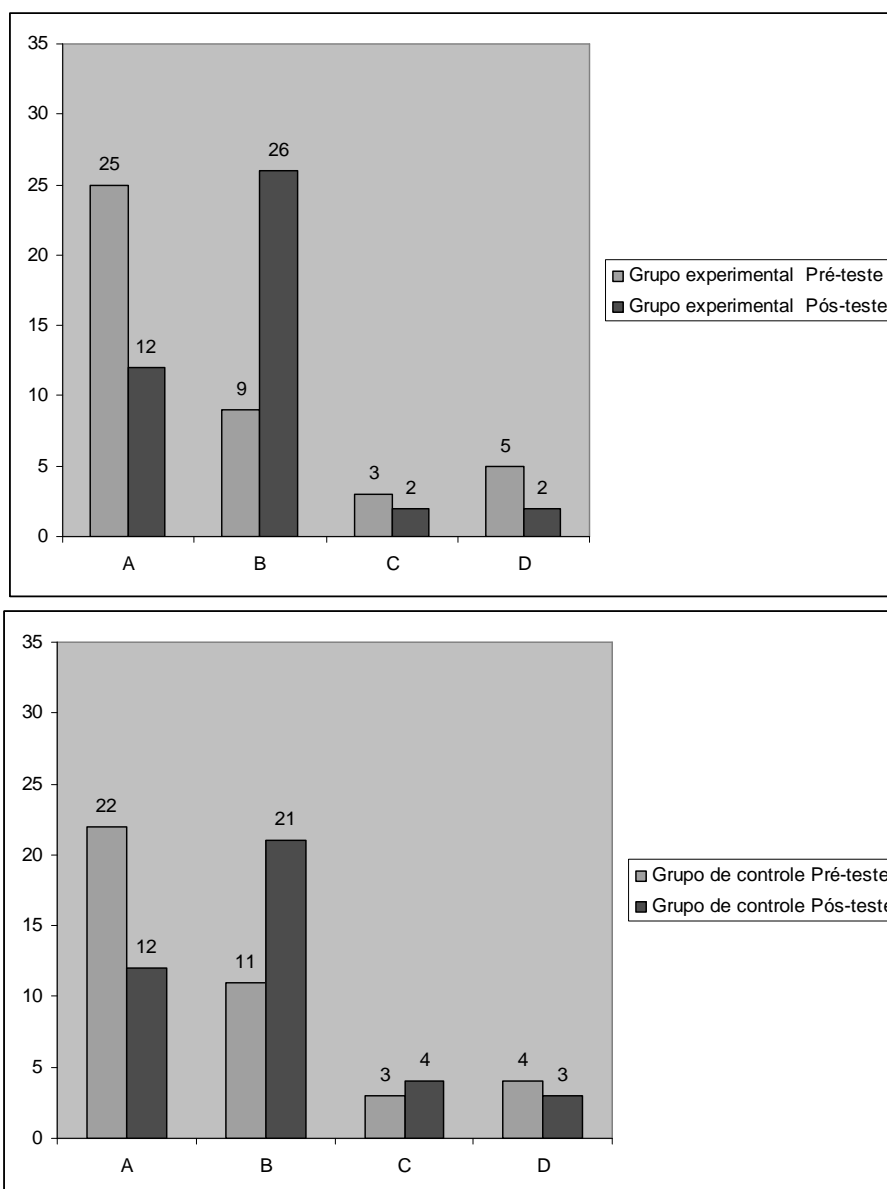


Figura 3 - Resultados obtidos para a questão 02

Tabela 5 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 02

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,14	17,2	4,07	3,90	0,0002
		Pós-teste	6,19	24,15			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	2,75	20,44	2,33	2,21	0,03
		Pós-teste	5,25	25,57			

Tabela 6 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 02

<i>Etapa</i>	<i>Grupo</i>	<i>Alunos</i>	<i>Médias</i>	<i>Variâncias</i>	<i>Teste t</i>	<i>T crítico bi-caudal</i>	<i>Significância estatística</i>
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	2,14	17,24	0,63	0,60	0,55
	Controle	40	2,75	20,44			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	6,19	24,15	0,85	0,84	0,40
	Controle	40	5,25	25,57			

Os resultados dos testes A e B (tabela 5) mostram um crescimento no acerto das respostas em ambos os grupos entre o pré-teste e o pós-teste. Novamente, o crescimento no grupo experimental tem erro menor, mas a significância estatística do crescimento do grupo de controle é da ordem de 3%, permitindo afirmar que o crescimento teve validade. A partir do teste C (tabela 6), confirmamos que os grupos são equivalentes, com 55% de significância. Mas o teste D (tabela 6) mostra que a hipótese nula desse teste (grupos idênticos após aplicação das diferentes técnicas didáticas) só pode ser rejeitada com 40% de chance de erro. A figura 3 permite uma interpretação visual desses resultados.

Assim, acreditamos que a experimentação não trouxe benefícios para nenhum dos grupos nesse item, relacionado à velocidade das ondas eletromagnéticas. Nenhuma das atividades experimentais conduzidas, entretanto, possuía especificamente a finalidade de verificação dessa velocidade e sua comparação com a velocidade do som, por exemplo. Esse fato, a princípio, corrobora com a nossa hipótese, pois apresenta uma correlação entre a ausência da atividade experimental e a aprendizagem. Acreditamos ainda que esse fato contribuiu para que ambos os grupos tenham obtido rendimentos não significativamente diferentes na análise estatística.

5.4 – Análise da questão 03

Por que o céu é escuro quando visto da Lua?

- a) **Porque a Lua não tem atmosfera. (correta)**
- b) Porque a Lua está em um lado oposto do Sol, em comparação com a Terra.
- c) Porque o céu somente é escuro no “lado negro” da Lua, não iluminado pelo Sol.
- d) Porque o conceito de céu só faz sentido na Terra.

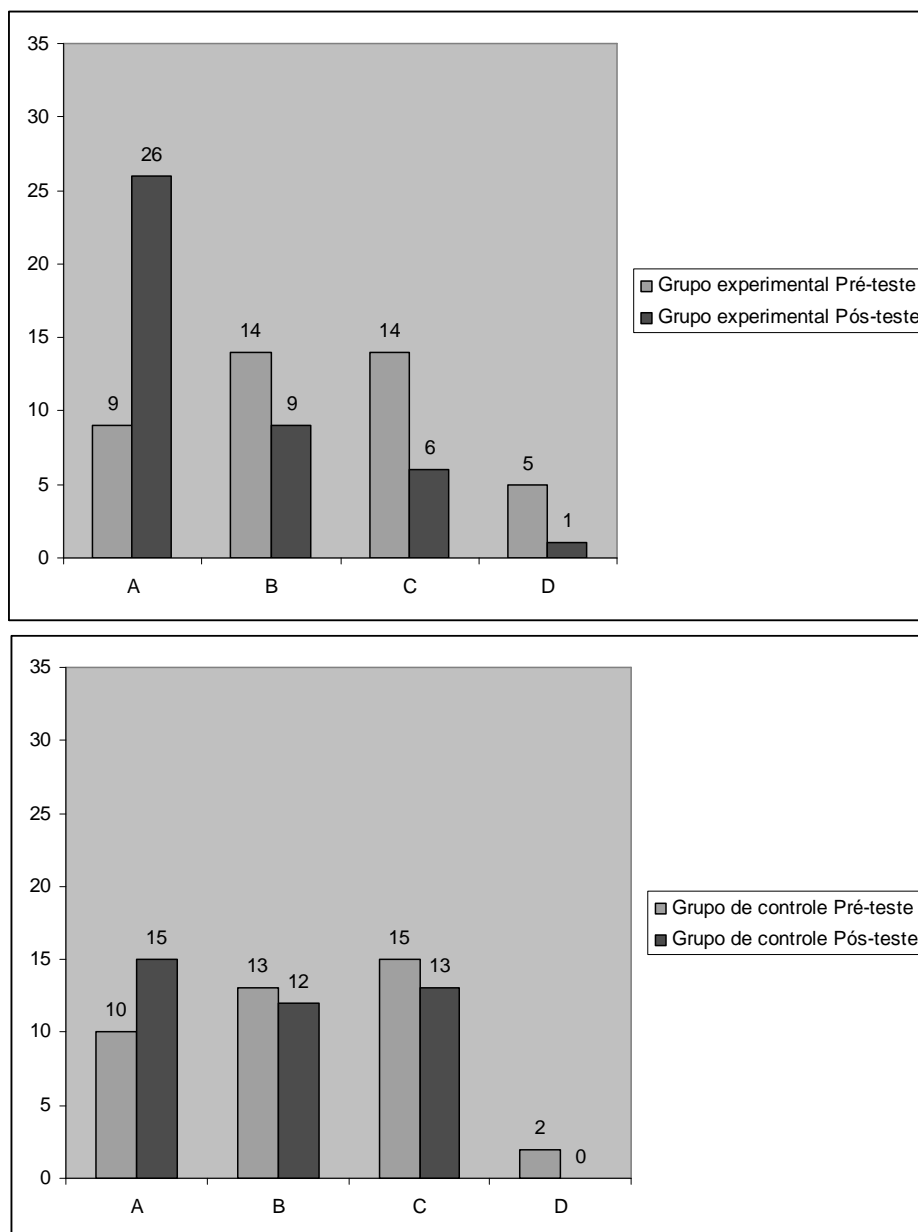


Figura 4 - Resultados obtidos para a questão 03

Tabela 7 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 03

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,14	17,24	4,07	3,89	0,0002
		Pós-teste	6,19	24,15			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	2,50	19,23	1,20	1,18	0,24
		Pós-teste	3,75	24,03			

Tabela 8 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 03

<i>Etapa</i>	<i>Grupo</i>	<i>Alunos</i>	<i>Médias</i>	<i>Variâncias</i>	<i>Teste t</i>	<i>T crítico bi-caudal</i>	<i>Significância estatística</i>
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	2,14	17,24	0,38	0,37	0,71
	Controle	40	2,50	19,23			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	6,19	24,15	2,25	2,20	0,03
	Controle	40	3,75	24,03			

Os resultados dos testes A e B (tabela 7) mostram um crescimento no acerto das respostas em ambos os grupos entre o pré-teste e o pós-teste, mas o grupo experimental obteve um crescimento menos questionável estatisticamente. O teste C (tabela 8) confirma que a equivalência dos grupos nesse item com 71% de significância, e o teste D (tabela 8) mostra o benefício da técnica didática para o grupo experimental, com 3% de erro. Visualmente, os resultados estão expostos na figura 4.

Acreditamos que a Atividade experimental demonstrativa 40 (difração da luz emitida por um apontador laser em um CD e um DVD, sem película refletora), a Atividade experimental demonstrativa 41 (projeção do espectro da luz do retroprojeto usando o CD) e a Atividade experimental demonstrativa 42 (uso de uma lanterna e aquário com água e leite para mostrar o espalhamento da luz), associados à difração e espalhamento da luz, ajudaram os estudantes do grupo experimental a perceber o efeito que a matéria pode ter sobre a propagação e eventual espalhamento da luz, enquanto os integrantes do grupo de controle permaneceram com a ideia intuitiva da luz como um agente que se propaga sem interação com a matéria.

5.5 – Análise da questão 04

Quando você olha para a sua mão, o que você vê?

- a) A imagem da mão como ela é no presente.
- b) A imagem da mão como ela era no passado. (correta)**
- c) A imagem da mão como ela será no futuro.
- d) A imagem da mão como ela foi, é e será.

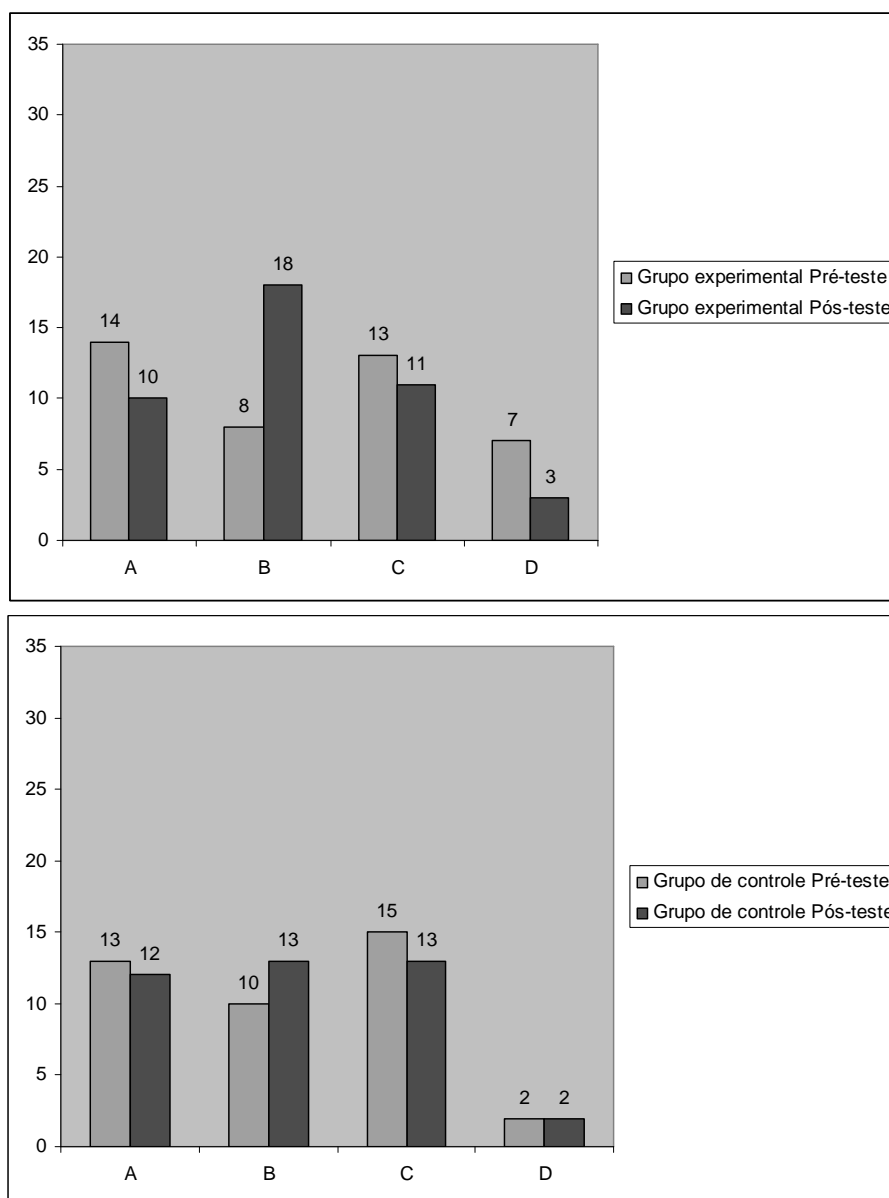


Figura 5 - Resultados obtidos para a questão 04

Tabela 9 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 04

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	1,90	15,79	2,41	2,37	0,02
		Pós-teste	4,28	25,08			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	2,50	19,23	0,73	0,72	0,47
		Pós-teste	3,25	22,50			

Tabela 10 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 04.

<i>Etapa</i>	<i>Grupo</i>	<i>Alunos</i>	<i>Médias</i>	<i>Variâncias</i>	<i>Teste t</i>	<i>T crítico bi-caudal</i>	<i>Significância estatística</i>
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	1,90	15,79	0,64	0,63	0,53
	Controle	40	2,50	19,23			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	4,28	25,08	0,96	0,94	0,35
	Controle	40	3,25	22,50			

Assim como na questão 02, que versava também sobre o tema da velocidade da luz, a análise estatística não permite afirmar que o grupo experimental obteve benefícios em relação ao grupo de controle. A tabela 9 mostra um crescimento desse grupo estatisticamente significativo, com margem de erro de 2%, enquanto a tabela 10 mostra que o grupo de controle não teve aumento significativo (margem de erro 47%). A tabela 10 também confirma a equivalência dos grupos são equivalentes (53% de significância), mas também mostra que a o crescimento do grupo experimental em relação ao grupo de controle tem 35% de chance de erro. Os resultados também estão resumidos na figura 5.

Assim, temos que optar pela não rejeição da hipótese nula, e considerar que a técnica experimental não produziu diferenças nessa questão. Nossa justificativa aqui é semelhante à fornecida na análise da questão 02: nenhum das atividades experimentais conduzidas se propunha a verificar a finitude da velocidade da luz, corroborando para a relação entre as atividades experimentais e a aprendizagem.

5.6 – Análise da questão 05

Segurando um espelho de bolso a uma distância de seu rosto quase igual ao comprimento de seu braço estendido, você provavelmente não conseguirá enxergar todo o seu rosto. Para enxergar uma maior porção do seu rosto, como você deveria segurar o espelho?

- a) Mais próximo ao rosto.
- b) Um pouco mais afastado do rosto.
- c) Muito mais afastado do rosto.
- d) Independentemente da posição do espelho, sempre será vista a mesma porção do rosto (proporcionalmente ao tamanho do rosto). (correta)**

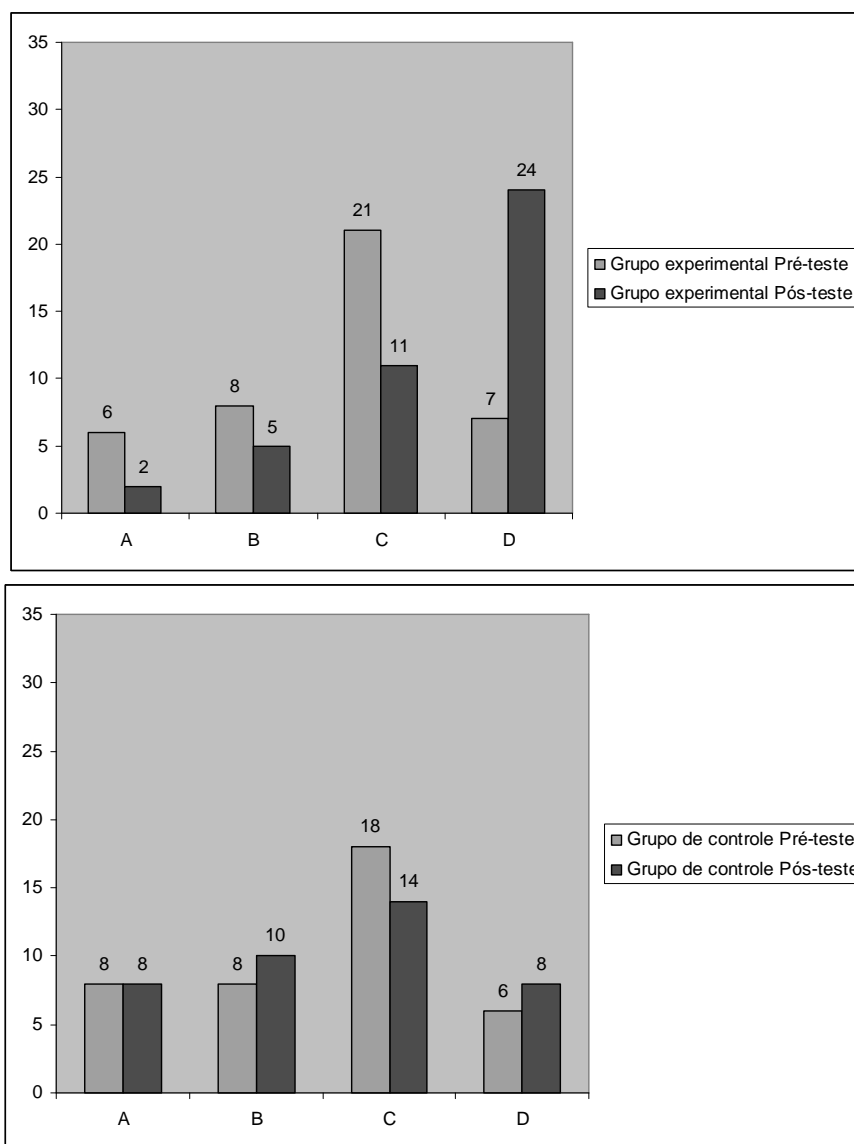


Figura 6 - Resultados obtidos para a questão 05

Tabela 11 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 05

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	1,66	14,22	3,42	3,41	0,001
		Pós-teste	5,00	25,60			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	1,50	13,07	0,58	0,58	0,56
		Pós-teste	2,00	16,41			

Tabela 12 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 05

<i>Etapa</i>	<i>Grupo</i>	<i>Alunos</i>	<i>Médias</i>	<i>Variâncias</i>	<i>Teste t</i>	<i>T crítico bi-caudal</i>	<i>Significância estatística</i>
Pré-teste (<i>teste C</i>)	Experimental	42	1,66	14,22	0,20	0,20	0,84
	Controle	40	1,50	13,07			
Pós-teste (<i>teste D</i>)	Experimental	42	5,00	25,60	2,97	2,96	0,004
	Controle	40	2,00	16,41			

Algumas das atividades demonstrativas que conduzimos junto ao grupo experimental envolviam desafiar as noções pré-estabelecidas sobre o processo de visão. A experiência descrita nessa questão (e conduzida em sala na Atividade experimental demonstrativa 15), a qual pode ser facilmente realizada com o auxílio de um pequeno espelho plano, demonstra que a posição do espelho não tem correlação com a parcela do rosto refletida na superfície. A explicação é técnica, envolvendo algum trabalho com geometria plana, e não será feita aqui. No grupo experimental, apenas realizamos a demonstração geométrica após a condução da atividade demonstrativa, enquanto no grupo de controle apenas a demonstração teórica foi realizada.

Os resultados dessa diferença de abordagem estão demonstrados nas significâncias estatísticas obtidas nos testes A e B. O crescimento no grau de correção das respostas foi sensivelmente superior no grupo experimental, enquanto no grupo de controle esse crescimento quase não foi verificado. Os grupos eram equivalentes no início da pesquisa (teste C, tabela 12), enquanto ao final da mesma sua diferença era inequívoca, em termos estatísticos (teste D, tabela 12). Os resultados também podem ser conferidos na figura 6.

Perguntar o exato resultado de uma atividade demonstrativa conduzida em sala de aula, entretanto, pode parecer exagerado para os fins de pesquisa. Nossa intenção nessa questão, entretanto, era a comparação entre a resolução dada aos conflitos cognitivos no grupo de controle (onde esse conflito foi criado apenas a partir de uma explicação teórica) e no grupo experimental (onde o surgimento do conflito se deu pela presença da atividade experimental, enquanto a explicação teórica auxiliou na sua resolução e posterior assimilação). A alta diferença entre o rendimento final dos dois grupos, em termos estatísticos, aponta para uma maior qualidade de aprendizagem quando a experiência se faz inclusa na gênese dos conflitos cognitivos, especialmente quando esses são estimulados pelo professor.

5.7 – Análise da questão 06

Onde a luz é mais rápida?

- a) Na alta atmosfera. (correta)
- b) Na baixa atmosfera.
- c) Na superfície da água.
- d) No fundo da água.

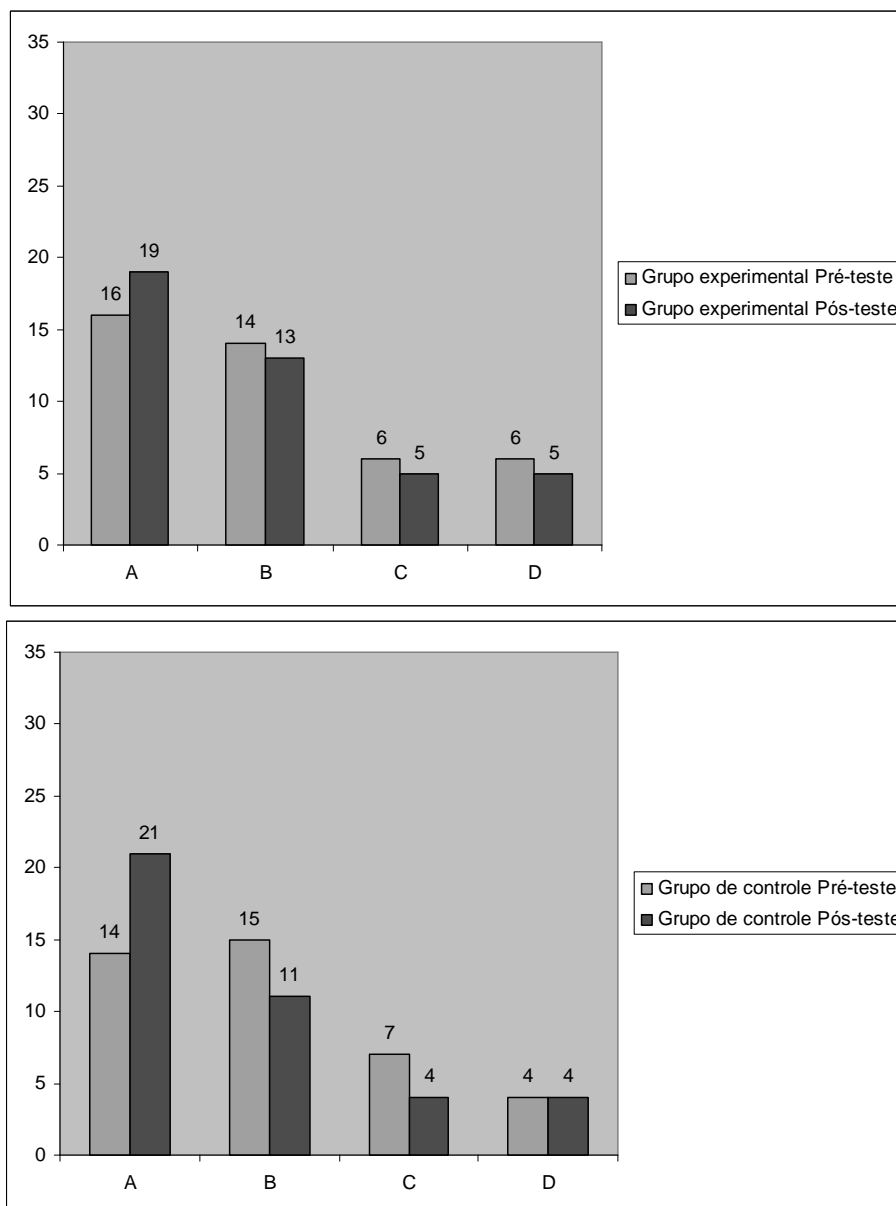


Figura 7 - Resultados obtidos para a questão 06

Tabela 13 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 06

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	3,80	24,15	0,65	0,64	0,51
		Pós-teste	4,52	25,37			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	3,50	23,33	1,58	1,56	0,11
		Pós-teste	5,25	25,57			

Tabela 14 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 06

Etapa	Grupo	Alunos	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	3,80	24,158	0,28	0,27	0,77
	Controle	40	3,50	23,33			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	4,52	25,37	0,65	0,63	0,51
	Controle	40	5,25	25,57			

Assim como na análise da questão 02, notamos aqui que não foi obtido um resultado estatisticamente significativo que represente uma aprendizagem diferenciada entre os dois grupos de trabalho. Sendo mais incisivos, podemos perceber que o grupo de controle obteve um desempenho até mesmo superior ao grupo experimental, fato evidenciado pelos gráficos constantes na figura 7 e na significância estatística dos testes A e B (tabela 13). O teste D (tabela 14) também nos permite concluir que os grupos não eram estatisticamente diversos ao final da intervenção, fato também confirmado pelo teste C (tabela 14). Na figura 7, encontram-se os resultados obtidos antes do tratamento estatístico.

Novamente, acreditamos que a presença da experimentação na prática didática não trouxe benefícios para o grupo experimental nesse item, o qual está diretamente relacionado à velocidade da luz em diferentes meios, e com o conceito do índice de refração. Apesar das **Atividades experimentais demonstrativas 26 e 27** serem dedicados a esse último conceito, eles não possuíam como finalidade última a verificação da velocidade da luz em um meio específico, o que provavelmente contribuiu para a relativa igualdade estatística encontrada nesse quesito.

5.8 – Análise da questão 07

A atmosfera de Júpiter tem mais de 1000 km de espessura. Qual a cor que você esperaria para o Sol, visto através dessa atmosfera?

a) Vermelho. (correta)

b) Azul.

c) Branco.

d) Preto.

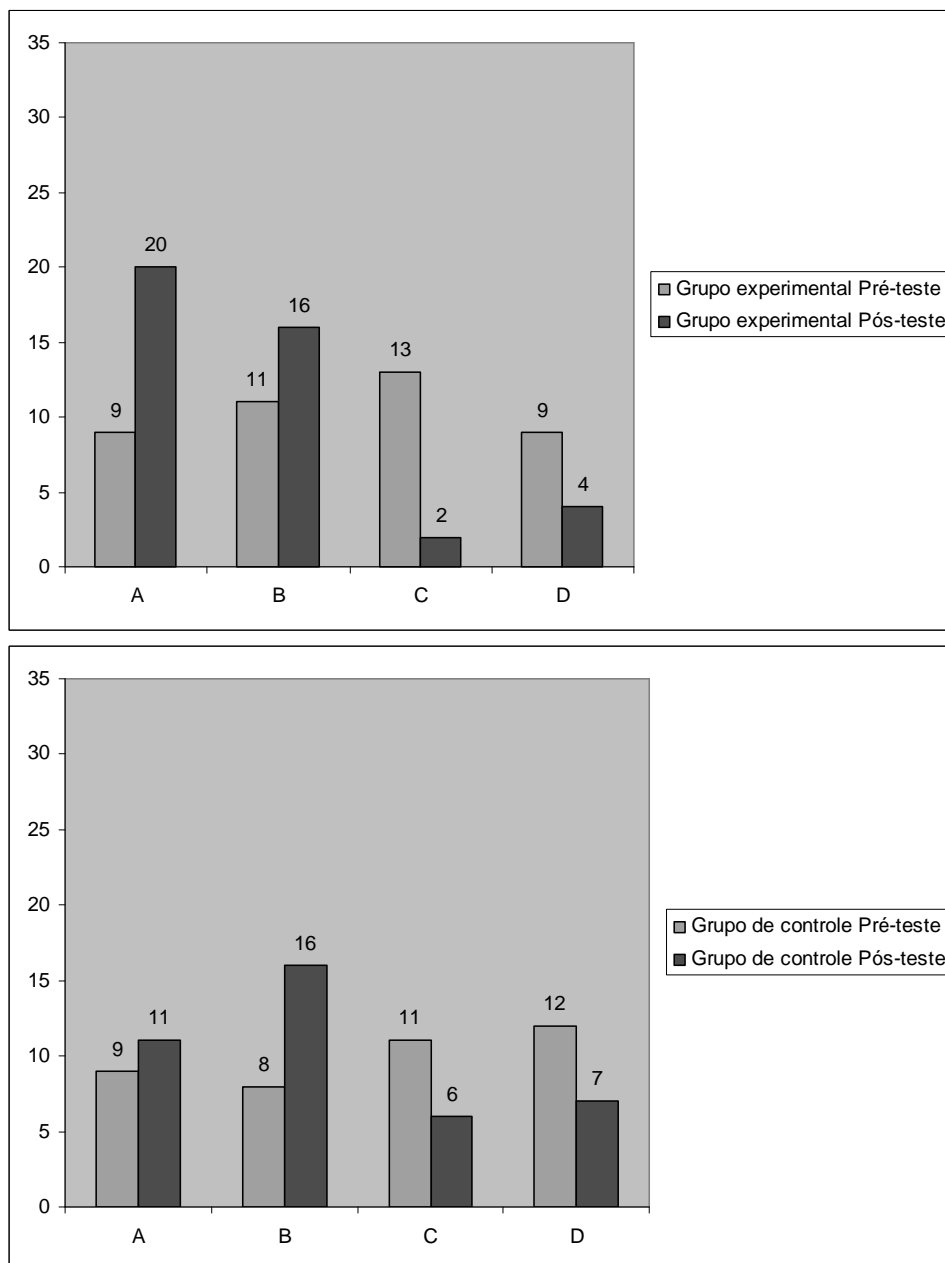


Figura 8 - Resultados obtidos para a questão 07

Tabela 15 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 07

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,14	17,24	2,59	2,57	0,01
		Pós-teste	4,76	25,55			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	2,22	17,88	0,51	0,50	0,61
		Pós-teste	2,75	20,44			

Tabela 16 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 07

Etapa	Grupo	Alunos	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	2,14	17,24	0,11	0,10	0,90
	Controle	40	2,25	17,88			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	4,76	25,55	1,90	1,88	0,06
	Controle	40	2,75	20,44			

As significâncias estatísticas obtidas apontam para uma correlação entre a condução de experiências demonstrativas e a aprendizagem. Observamos os grupos são inicialmente equivalentes no início da pesquisa (o grande valor para a significância estatística no teste C indica o grau de semelhança entre os grupos), mas ao final da mesma já surge uma diferença marcante entre os mesmos (o baixo valor da significância no teste D permite estabelecer tal correlação).

O crescimento no grau de acertos nessa questão foi sensivelmente maior para o grupo experimental (testes A e B), fato também evidenciado na figura 8. Em termos do conteúdo abordado, vemos que a questão exige um conhecimento dos conceitos fundamentais do espalhamento de Rayleigh, o qual foi demonstrado experimentalmente em um dos grupos (**Atividade experimental demonstrativa 42**).

É interessante perceber que essa foi a última atividade experimental conduzida no grupo de trabalho, apenas uma semana antes da aplicação do pós-teste, fato que pode ter contribuído para o alto grau de respostas corretas nessa fase final da pesquisa. Entretanto, a ausência de um crescimento significativo nos acertos do grupo de controle nos permite acreditar que a experiência conduzida (espalhamento da luz branca ao atravessar uma solução fortemente diluída de ácido sulfúrico) possuiu um papel relevante no processo de ensino-aprendizagem, configurando-se como um conflito cognitivo de alto nível para os alunos do grupo experimental.

5.9 – Análise da questão 08

Por que o céu é azul?

- a) É somente uma ilusão de ótica. O céu, na verdade, é levemente amarelado, mas nossos olhos se acostumam com tal cor e detectam apenas a sua complementar, o azul.
- b) A cor do ar é levemente azulada, e em grandes proporções esse azul é realçado.
- c) As cores azul, anil e violeta são capazes de se espalhar mais que as outras, quando passam pelas moléculas do ar, na maior parte do dia. A combinação dessas três cores produz o céu azul. (correta)**
- d) Porque o ar absorve as outras radiações, sobrando somente a radiação de cor azul.

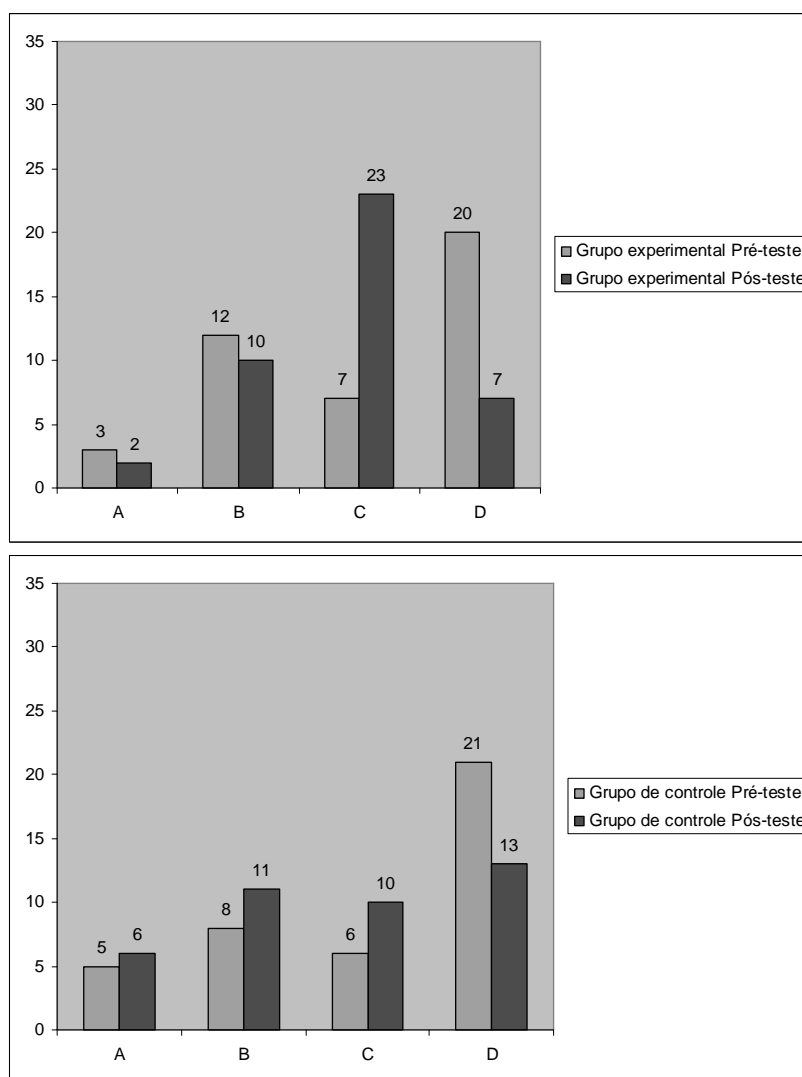


Figura 9 - Resultados obtidos para a questão 08

Tabela 17 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 08

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,14	17,24	2,59	2,57	0,01
		Pós-teste	4,76	25,55			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	2,25	17,88	0,51	0,50	0,60
		Pós-teste	2,75	20,44			

Tabela 18 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 08

Etapa	Grupo	Alunos	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	2,14	17,24	0,11	0,10	0,90
	Controle	40	2,25	17,88			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	4,76	25,55	1,90	1,88	0,06
	Controle	40	2,75	20,44			

Apesar do questionamento sobre a cor azulada do céu ser milenar (tradicionalmente, é uma das clássicas questões infantis), a explicação para esse fenômeno tão cotidiano raramente é feita a contento. Uma intenção explícita da nossa proposta de trabalho envolvia responder de forma satisfatória a essa pergunta, em ambos os grupos. Para tal, adotamos o modelo de transposição didática sugerido por Krapas e Santos (2002), tanto para a explicação teórica concebida para ambos os grupos quanto a atividade para a demonstração do fenômeno (**Atividade experimental demonstrativa 42**).

Acreditamos que a clara superioridade do grupo experimental no nível de acertos nessa questão encontra-se evidenciado nos resultados encontrados nos testes A e B (tabela 17), assim como na figura 9, e só podemos atribuir à experiência demonstrativa conduzida esse maior grau de acurácia. O fato de a experiência ter sido conduzida na aula imediatamente anterior à aplicação do pós-teste também pode ter contribuído para esse fato, como já afirmamos anteriormente, na análise dos resultados da questão 07.

5.10 – Análise da questão 09

Como seria o brilho de um diamante mergulhado em água?

- a) Maior que o brilho quando ele está no ar.
- b) Menor que o brilho quando ele está no ar. (correta)**
- c) Igual ao brilho quando ele está no ar.
- d) Não haveria brilho.

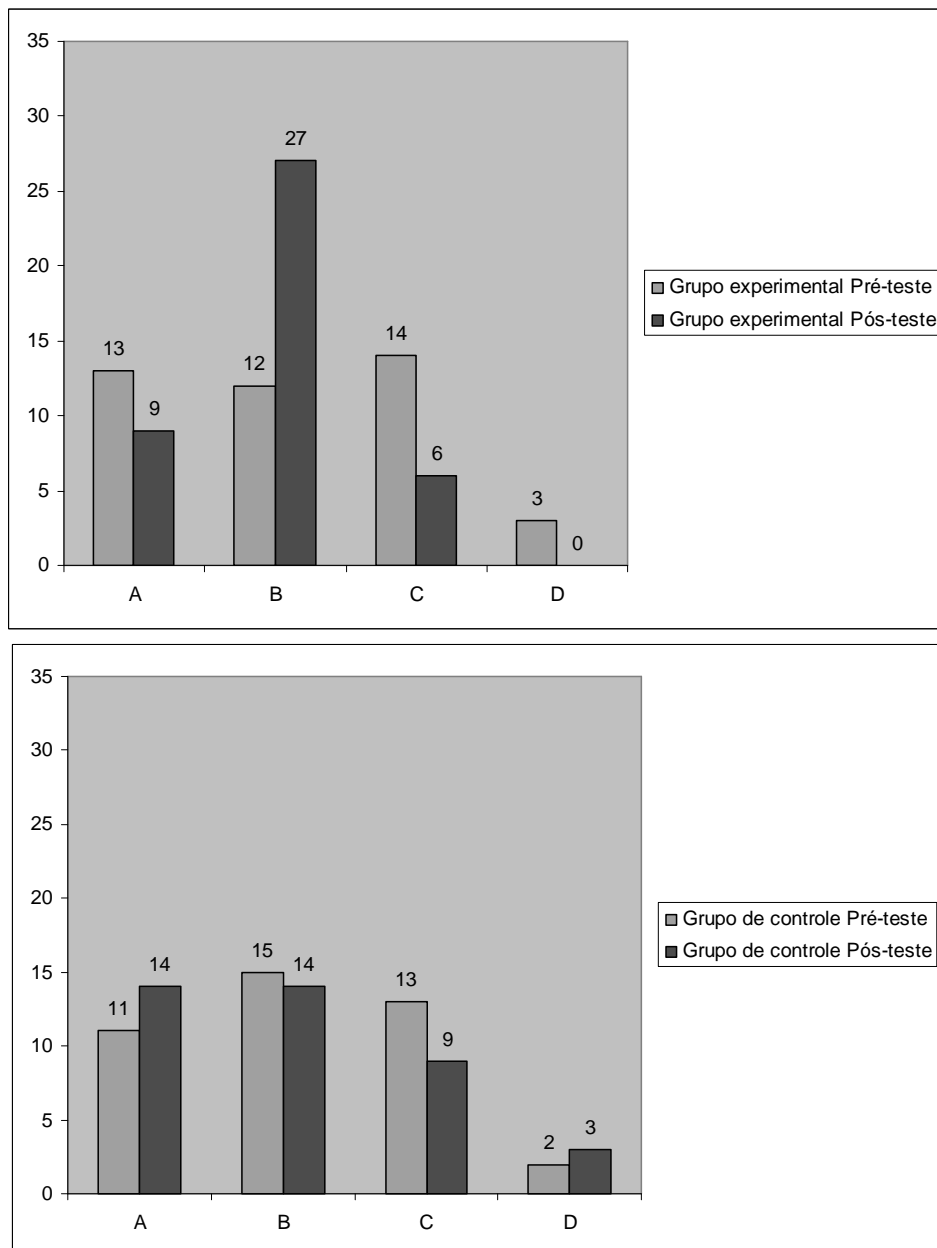


Figura 10 - Resultados obtidos para a questão 09

Tabela 19 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 09

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,85	20,90	3,47	3,45	0,0008
		Pós-teste	6,42	23,51			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	3,75	24,03	0,22	0,22	0,81
		Pós-teste	3,50	23,33			

Tabela 20 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 09

Etapa	Grupo	Alunos	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	2,85	20,90	0,85	0,84	0,39
	Controle	40	3,75	24,03			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	6,42	23,51	2,73	2,71	0,008
	Controle	40	3,50	23,33			

A reflexão total é um dos fenômenos ópticos com maior aplicação tecnológica, estando presente em áreas tão distintas quanto a tecnologia da informação, instrumentos médicos e a lapidação de joias. Uma das condições necessárias para a ocorrência desse fenômeno é a diferença entre os índices de refração das duas substâncias envolvidas. Como o ar possui um índice de refração muito baixo, a chance que ocorra reflexão total em um objeto transparente que esteja imerso no ar é muito alta, se compararmos com a imersão em água, por exemplo, o que resulta em menor brilho para os objetos mergulhados em água.

Na nossa pesquisa, conduzimos diversas atividades demonstrativas que apresentavam a reflexão total ou sua ausência (nas experiências de invisibilidade). Em especial, acreditamos que a **Atividade experimental demonstrativa 27** (desaparecimento de esferas de policreatina na água) e a **Atividade experimental demonstrativa 33** (reflexão total e múltiplas refrações de um feixe laser em uma peça de vidro lapidado imersa no ar, com o formato de um diamante) foram as que mais colaboraram com subsídios para a resposta a essa pergunta. Nossa intenção era literalmente conduzir a experiência sugerida nessa questão (usando uma peça de vidro ao invés de diamante), mas optamos por não conduzi-la, para verificar se o método de ensino proposto permite aos estudantes transcender as experiências vistas em sala. Os resultados dos testes A e B (tabela 19) e a figura 10 apresentam um inequívoco grau superior de acertos no grupo experimental, indicando que as atividades citadas podem

ter contribuído para a construção de um esquema mental mais robusto nos estudantes desse grupo, em comparação com os integrantes do grupo de controle.

5.11 – Análise da questão 10

O que um peixe enxerga quando ele olha para cima num ângulo de 45°?

- a) O céu. (correta)
- b) O reflexo do fundo.
- c) O reflexo de si próprio.
- d) Nada.

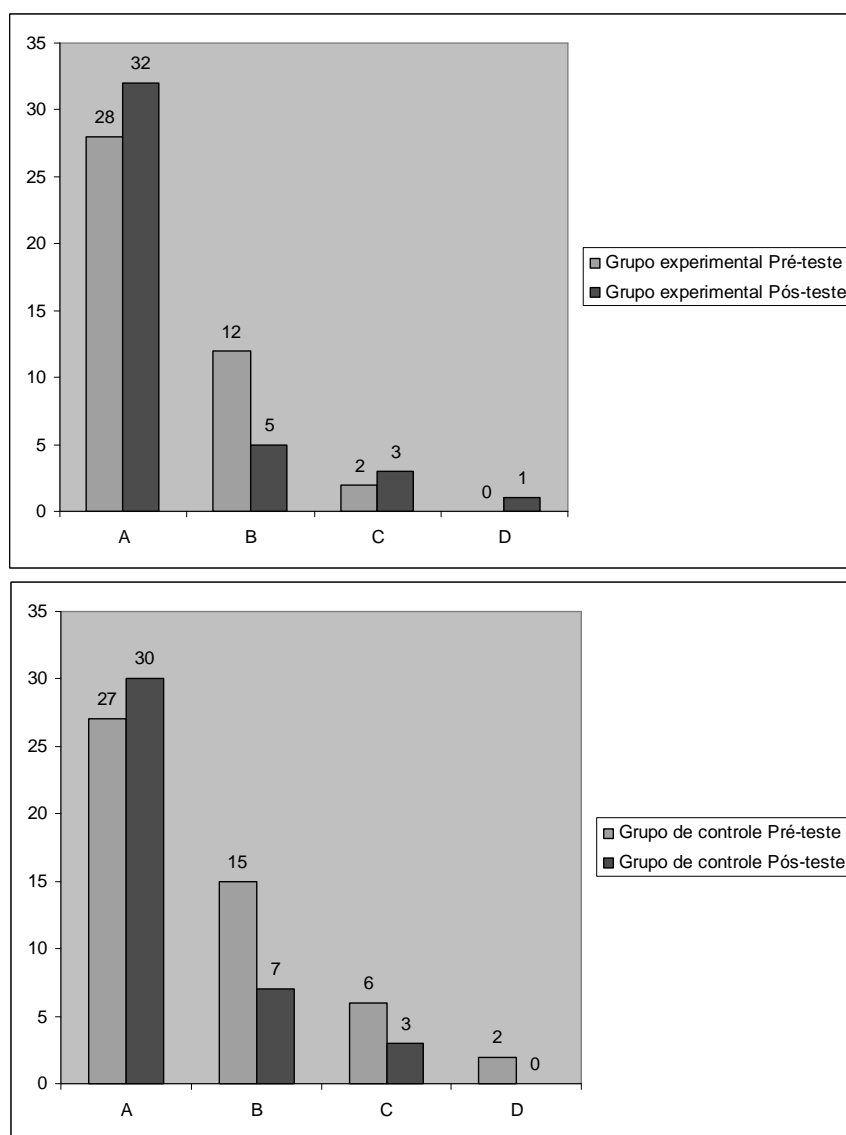


Figura 11 - Resultados obtidos para a questão 10

Tabela 21 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 10

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	6,66	22,76	0,95	0,94	0,34
		Pós-teste	7,61	18,58			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	6,75	22,50	0,73	0,71	0,47
		Pós-teste	7,50	19,23			

Tabela 22 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 10

Etapa	Grupo	Alunos	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	6,66	22,76	0,08	0,08	0,94
	Controle	40	6,75	22,50			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	7,61	18,58	0,12	0,11	0,91
	Controle	40	7,50	19,23			

A intenção fundamental do questionamento proposto nesse item era a verificação da possibilidade de transcendência dos conceitos associados à refração e à reflexão total que foram apresentados em sala de aula. No grupo experimental, a discussão da teoria necessária para a resolução dessa questão se deu a partir das seguintes atividades: **Experiência 25** (desvio de um feixe de luz laser ao passar pelo ar e pela água presentes em uma garrafa), **Experiência 28** (reflexão total no dioptra ar – água da mesma garrafa), **Experiência 29** (reflexão total em um bastão que serviu de modelo para uma fibra óptica), **Experiência 31** (abajur de fibra óptica), **Experiência 32** (reflexão total em um bastão curvo) e **Experiência 33** (reflexão total e múltiplas refrações de um feixe laser em uma peça de vidro lapidado imersa no ar, com o formato de um diamante).

Apesar do grande número de atividades experimentais realizadas no grupo experimental, não verificamos nenhuma correlação entre essas demonstrações e o aumento no número de acertos, o qual já era alto até mesmo no pré-teste. Os resultados estatísticos dos testes A e B mostram que não se pode estabelecer correlação entre o método de trabalho proposto e o crescimento no grau de acertos, enquanto os testes C e D mostram que os grupos permaneceram praticamente idênticos (em termos estatísticos), antes e após a intervenção. A figura 11 também apresenta esses resultados em forma gráfica.

Acreditamos que essa igualdade entre os grupos, além do alto grau de acertos nessa questão já no pré-teste, está associada à falta de qualidade do questionamento. A pergunta, por si só, é muito simples de ser respondida: afinal, espera-se ver o céu ao se olhar para cima, ainda que seja um peixe dentro da água. Assim, acreditamos que os alunos simplesmente incorporaram o questionamento aos seus esquemas mentais prévios, mesmo que erradamente, mas ainda assim acertando a questão, pois o questionamento proposto não se revelou como um conflito cognitivo relevante para os estudantes.

5.12 – Análise da questão 11

Que tipo de rodovia é mais fácil de enxergar quando se dirige durante a noite, uma superfície irregular empedrada ou uma superfície lisa parecida com um espelho?

- a) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.
- b) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em todas as direções. (correta)**
- c) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.
- c) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em várias direções.

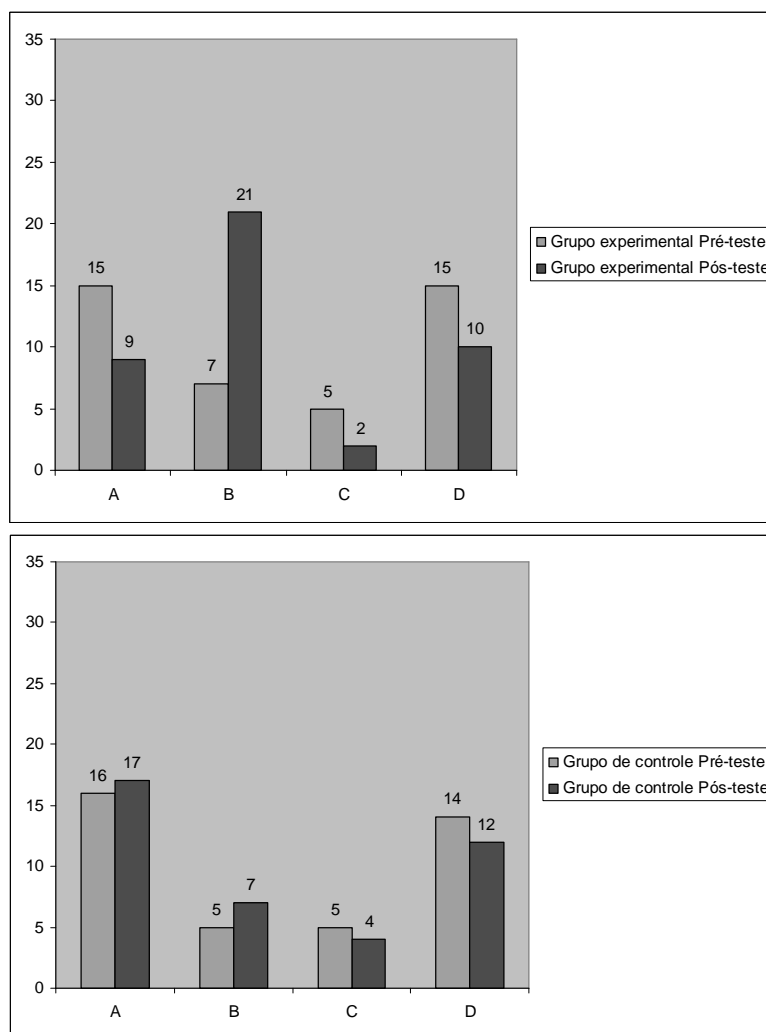


Figura 12 - Resultados obtidos para a questão 11

Tabela 23 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 11

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	1,19	10,74	3,84	3,81	0,0003
		Pós-teste	4,76	25,55			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	1,75	14,80	0,55	0,54	0,58
		Pós-teste	2,25	17,88			

Tabela 24 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 11

Etapa	Grupo	Alunos	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	1,19	10,74	0,70	0,69	0,48
	Controle	40	1,75	14,80			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	4,76	25,55	2,44	2,41	0,02
	Controle	40	2,25	17,88			

A reflexão da luz em superfícies lisas (dita especular) ou irregulares (dita difusa) é comumente tratada logo no início das aulas de reflexão, provavelmente como sugestão

da abordagem dos livros didáticos tradicionais, passando-se logo em seguida ao estudo dos espelhos planos e esféricos. Acreditamos que um maior tempo de abordagem deveria ser dedicado a essa diferença, pois ela explica uma série de fenômenos cotidianos, como é evidenciado pelo questionamento feito nesse item.

O nível de acurácia na resposta é fortemente superior no grupo experimental, fato evidenciado pelas significâncias estatísticas dos testes A e B (tabela 23) e pelos gráficos constantes na figura 12. Nossa sensação é que a condução da **Atividade experimental demonstrativa 12** (reflexão especular e difusa da luz em um espelho plano) pode ter contribuído para essa diferença, por ser capaz de demonstrar para os estudantes que uma superfície irregular é capaz de refletir raios em múltiplas direções, permitindo que diferentes observadores a detectem, enquanto a reflexão especular limita tal visibilidade.

5.13 – Análise da questão 12

Por que um avião voando alto projeta pouca ou nenhuma sombra sobre o solo, ao passo que um avião que voa baixo projeta uma sombra bem nítida?

a) Porque a sombra do avião é muito pequena quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra aumenta de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível.

b) Porque a sombra do avião é muito grande quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra diminui de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível. (correta)

c) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Próximo ao solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra mais nítida.

d) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Longe do solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra menos nítida.

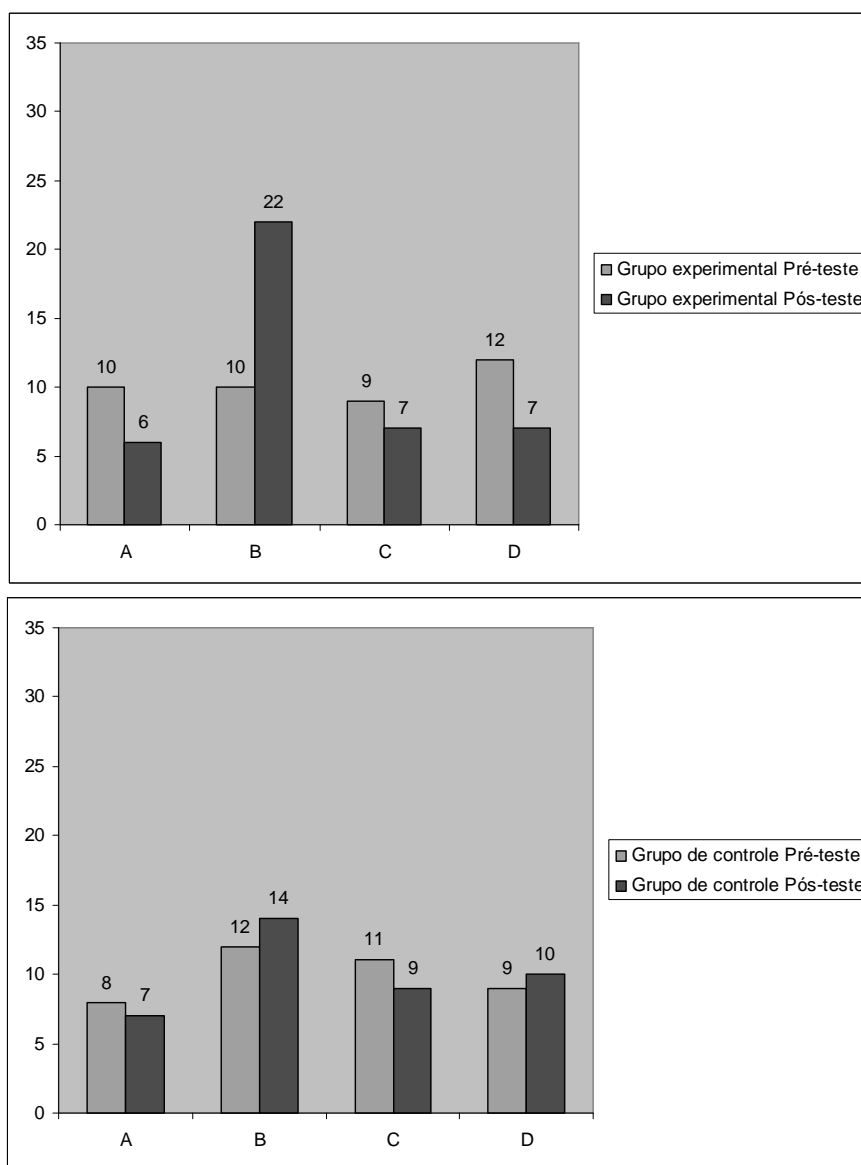


Figura 13 - Resultados obtidos para a questão 12

Tabela 25 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 12

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,38	18,58	2,78	2,75	0,007
		Pós-teste	5,23	25,55			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	3,00	21,53	0,47	0,45	0,64
		Pós-teste	3,50	23,33			

Tabela 26 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 12

<i>Etapa</i>	<i>Grupo</i>	<i>Alunos</i>	<i>Médias</i>	<i>Variâncias</i>	<i>Teste t</i>	<i>T crítico bi-caudal</i>	<i>Significância estatística</i>
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	2,38	18,58	0,62	0,60	0,54
	Controle	40	3,00	21,53			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	5,23	25,55	1,59	1,58	0,12
	Controle	40	3,50	23,33			

Apesar de essa questão ter sido retirada da obra de Hewitt (2002), ela é um questionamento comum nas aulas introdutórias sobre a natureza da luz e sua ausência. O estudo das sombras e penumbras, se realizado como sugerido nos livros didáticos (por exemplo, RAMALHO et al., 2007; BONJORNO et al., 2003; ALVARENGA e MÁXIMO, 2005; VILLAS-BÔAS et al., 2001), se configura como uma mera aplicação de princípios da geometria plana, tendo como única função a resolução de exercícios sobre semelhança e congruência de triângulos.

Na nossa proposta didática, conduzimos duas atividades bastante simples para a observação de sombras e penumbras: a **Atividade experimental demonstrativa 04** (projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por uma vela) e a **Atividade experimental demonstrativa 05** (projeção de sombras de objetos opacos usando a luz emitida por duas velas). Em ambas as atividades, procuramos levar os estudantes a observar que a nitidez da sombra (tecnicamente chamada de *umbra*) aumentava quando o objeto se aproximava do anteparo de projeção, e diminuía no afastamento, devido ao aumento do tamanho da sombra nesse segundo caso. Os desenhos explicativos usados na explicação também foram feitos no grupo de controle, e a mudança de nitidez foi discutida apenas em termos teóricos.

O resultado da diferença de abordagens é visível tanto nos gráficos constantes da figura 13 quanto nos testes A e B (tabela 25), que indicam que o aprendizado do grupo experimental foi favorecido pelas atividades experimentais. Apesar disso, o resultado do teste D (tabela 26) nos apresenta que os grupos só podem ser considerados como diferentes após a aplicação dos diferentes métodos de ensino se estivermos dispostos a admitir uma probabilidade de erro de 12%. Acreditamos que, no caso específico, essa chance de erro é tolerável, pois se observarmos o segundo gráfico da figura 13, veremos que os estudantes do grupo de controle praticamente repetiram o seu desempenho no pré-teste e no pós-teste.

5.14 – Análise da questão 13

Em qual dos casos uma banana madura parecerá preta?

- a) Quando iluminada com luz vermelha.
- b) Quando iluminada com luz verde.
- c) Quando iluminada com luz azul. (correta)**
- d) Quando iluminada com luz magenta.

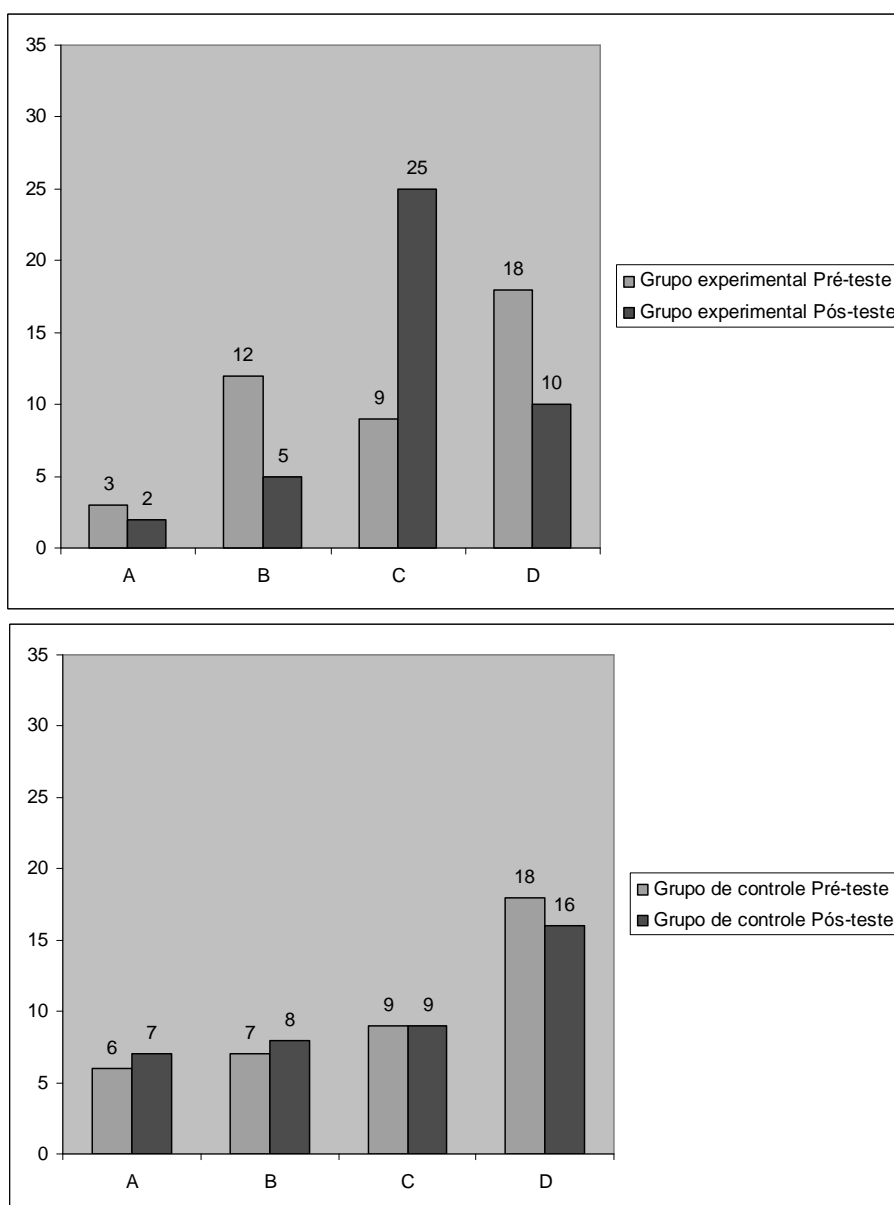


Figura 14 - Resultados obtidos para a questão 13

Tabela 27 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 13

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	2,14	17,24	3,81	3,79	0,0002
		Pós-teste	5,95	24,68			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	2,25	17,88	0	0	1,00
		Pós-teste	2,25	17,88			

Tabela 28 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 13

Etapa	Grupo	Alunos	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Pré-teste (teste C)	Experimental	42	2,14	17,24	0,11	0,10	0,90
	Controle	40	2,25	17,88			
Pós-teste (teste D)	Experimental	42	5,95	24,68	3,63	3,60	0,0005
	Controle	40	2,25	17,88			

O questionamento sobre a coloração de um objeto quando submetido a uma iluminação diferente da luz branca é uma constante nos livros didáticos de Física (RAMALHO et al., 2007; BONJORNO et al., 2003; ALVARENGA e MÁXIMO, 2005; VILLAS-BÔAS et al., 2001). Via de regra, esse questionamento é feito de forma simplificada, apresentando-se como verdadeira a ideia de que um objeto só é capaz de refletir a “cor” que ele possui quando iluminado com luz branca. Essa situação, entretanto, envolve pigmentos puros e luzes monocromáticas, e é extremamente distante da situação usual, na qual uma mistura de pigmentos (como a casca amarela da banana) é submetida a luzes policromáticas. Para dar a resposta correta a essa pergunta, o estudante deve ter compreendido as noções de adição e subtração de cores, além do conceito de cores complementares.

Esses temas possuem forte relevância na literatura consultada, sendo o ponto de convergência dos trabalhos de Yurumezoglu (2009), Nopparatjamjomras et al. (2009), Kamata e Matsunaga (2007), Maroto et al. (2006), Costa et al. (2008), Reid (2008), Loreto e Sartori (2008) e Silva e Topa (2001). Entretanto, essa onipresença na literatura acadêmica nem sempre possui um contraponto nas atividades desenvolvidas na sala de aula. Em outras palavras, raramente o estudante se depara com esses conceitos em aulas

de Óptica, provavelmente porque a cobrança desses temas em exames vestibulares é restrita ou mesmo nula ^[6].

Os resultados encontrados na figura 14 e nos testes A e B (tabela 27), além da confirmação da desigualdade dos grupos após a intervenção (teste D, tabela 28), nos indicam que as experiências desenvolvidas favoreceram a aprendizagem do grupo experimental, enquanto o grupo de controle não apresentou nenhuma melhora no seu rendimento. Em particular, esse ganho de aprendizagem é creditado à Atividade experimental demonstrativa 06 (dispersão da luz branca, utilizando um retroprojeter e um prisma de acrílico, com projeção do espectro em um anteparo), Atividade experimental demonstrativa 07 (uso de um disco de Newton didático para a somatória de cores), Atividade experimental demonstrativa 08 (adição das cores primárias, usando três lâmpadas, nas cores vermelha, verde e azul), Atividade experimental demonstrativa 09 (adição de cores usando sombras de objetos opacos) e Atividade experimental demonstrativa 10 (adição de cores em uma base plástica, contendo quatro lâmpadas diferentes: vermelha, verde, azul e amarela, com posterior visualização do efeito resultante sobre objetos acrílicos, coloides e silicone).

Acreditamos que a sensível diferença de rendimento observada é plenamente justificada nesse caso: é muito difícil crer, sem observar experimentalmente, que lâmpadas vermelhas e verdes, quando ligadas simultaneamente, produzirão a cor amarela. Sem a visualização da experiência, acreditamos que o estudante será levado a raciocinar sobre a pergunta como uma mistura de tintas, o que pode explicar o ganho nulo que o grupo de controle obteve nas respostas a essa questão.

5.15 – Análise da questão 14

Uma antena parabólica é basicamente um grande prato parabólico, constituído por uma grade metálica vazada. Como ela se comporta?

- a) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e como uma superfície lisa para a luz.
- b) Como um refletor difuso para a luz e como uma superfície lisa para as ondas de rádio. (correta)**
- c) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e para a luz.
- d) Como uma superfície lisa para as ondas de rádio e para a luz.

⁶ Informalmente, citamos uma experiência pessoal: por mais de doze anos, temos resolvido os exames vestibulares da Universidade de Brasília. Não temos lembrança da presença dos temas relacionados à adição e subtração de cores em nenhuma das provas realizadas ao longo desses anos.

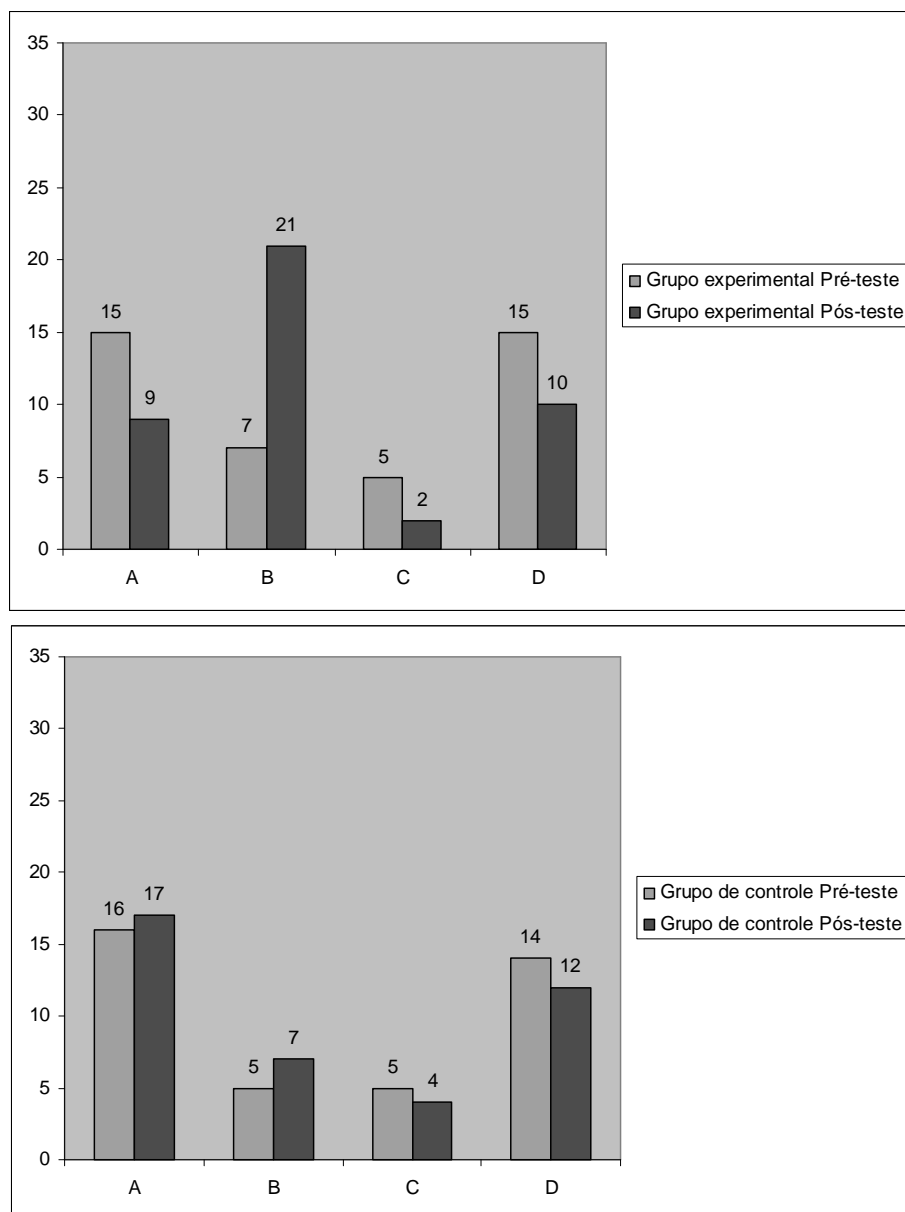


Figura 15 - Resultados obtidos para a questão 14

Tabela 29 - Resultados do teste A e do teste B para a questão 14

Grupo	Alunos	Etapa	Médias	Variâncias	Teste t	T crítico bi-caudal	Significância estatística
Experimental (teste A)	42	Pré-teste	1,66	14,22	3,42	3,41	0,001
		Pós-teste	5,00	25,60			
Controle (teste B)	40	Pré-teste	1,25	11,21	0,61	0,60	0,53
		Pós-teste	1,75	14,80			

Tabela 30 - Resultados do teste C e do teste D para a questão 14

<i>Etapa</i>	<i>Grupo</i>	<i>Alunos</i>	<i>Médias</i>	<i>Variâncias</i>	<i>Teste t</i>	<i>T crítico bi-caudal</i>	<i>Significância estatística</i>
Pré-teste (<i>teste C</i>)	Experimental	42	1,66	14,22	0,52	0,51	0,60
	Controle	40	1,25	11,21			
Pós-teste (<i>teste D</i>)	Experimental	42	5,00	25,60	3,28	3,20	0,001
	Controle	40	1,75	14,80			

A luz pode ser encarada como uma onda eletromagnética, e a maioria dos fenômenos sofridos por ela também pode ocorrer com outras ondas de mesma natureza. Nossa intenção nesse questionamento era verificar se os esquemas mentais dos alunos, após a intervenção, estariam aptos a responder questionamentos não somente para a luz, mas também para outras ondas eletromagnéticas.

Verificamos que essa aptidão se mostrou presente, tendo os resultados constantes na figura 15 e nos testes A e B (tabela 29) como referência. A disparidade de aprendizagem também é confirmada no teste D (tabela 30). Sendo ambos os grupos idênticos no início da pesquisa, como é indicado pelo teste C (tabela 30), somos levados a crer que os atividades que visavam à distinção entre a reflexão especular e a difusa foram os diferenciais de aprendizagem, em particular o Experimento 12 (reflexão especular e difusa da luz em um espelho plano). O Experimento 18 (determinação do foco de um espelho côncavo usando dois feixes laser paralelos, convergentes após reflexão no espelho) também pode ter contribuído para esse maior volume de acertos por parte do grupo experimental.

*Take me out tonight
Because I want to see people and I want to see lights.*

(The Smiths, *There's a light that never goes out.* Álbum: *The Queen is dead*, 1986)

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Na introdução desse trabalho, apresentamos vários autores que afirmam que, apesar da atividade experimental fazer parte do cerne da pesquisa científica, ela continua sendo pouco utilizada no ensino de Física. O volume de pesquisa na área, todavia, tem crescido substancialmente na última década, e esse trabalho tem a intenção de somar contribuições nessa área.

Percebemos que uma das contribuições, no fundo, já era conhecida por nós: a experimentação tem clara influência no processo educacional (afirmação corroborada pelas pesquisas constantes nos capítulos iniciais desse trabalho). Só não percebíamos, antes da pesquisa, qual o grau dessa influência. Os dados obtidos da correção do pré-teste e do pós-teste, após a tabulação e codificação, nos permitiram perceber quais itens presentes nos questionários apresentaram maior correlação entre a presença de atividades experimentais demonstrativas e a aprendizagem.

O experimento, por si só, traz um atrativo lúdico e interacional, que tende a colaborar para a aprendizagem pela natural quebra da rotina escolar. Contudo, buscamos em nossa pesquisa não apenas a apresentação dos componentes lúdicos de uma atividade experimental, mas a sua imersão em um processo mais amplo de ensino e aprendizagem. Em última instância, buscamos a reconceitualização do trabalho experimental, tão discutida ao longo desse trabalho. De forma curta, reconceitualizar uma atividade experimental é mostrá-la como parte de um todo (o conhecimento científico), e não apenas como uma observação de um fenômeno interessante.

Não podemos perder de vista que essa pesquisa foi conduzida dentro de um ambiente escolar, o qual possui, entre outras funções, a necessidade de formação acadêmica e moral do indivíduo. Assim, nossa intenção pedagógica ao longo da pesquisa se voltou especialmente para a aprendizagem dos estudantes, sem almejar uma falaciosa “mudança conceitual”.

Para a avaliação, usamos testes de múltipla escolha. Os testes aplicados na pesquisa correspondiam a quatorze perguntas. Após a tabulação das respostas, obtivemos um rendimento superior (e estatisticamente significativo) do grupo experimental em dez delas. Dentre os resultados que corroboram nossa hipótese central (a experimentação como mecanismo de favorecimento da aprendizagem), encontram-se as respostas obtidas nas questões 01 (ausência e presença da luz), 03 (espalhamento e

difração), 05 (reflexão em espelhos planos), 07 (espalhamento e refração), 08 (espalhamento), 09 (refração e reflexão total), 11 (reflexão especular e difusa), 12 (luz e sombra), 13 (adição de cores) e 14 (reflexão em superfícies curvas).

Nos resultados obtidos em todas essas questões citadas anteriormente, observamos uma superioridade de rendimento a favor do grupo experimental, em termos de significância estatística. A presença do grupo de controle, usado como padrão de comparação, nos leva a crer que a presença de atividades experimentais demonstrativas foi o fator determinante para a aprendizagem dos temas cobrados nessas dez questões. Algumas das questões (como a questão 13) cobravam a exata discussão promovida em sala, ou a própria experiência demonstrativa que foi realizada durante a exposição do tema (como na questão 05). Nessas questões, o grau de acertos do grupo experimental foi ainda maior, corroborando com nossas hipóteses sobre o papel da experimentação e da reconceitualização das atividades experimentais.

A reconceitualização do trabalho experimental se fez necessária porque nem todas as questões continham apenas as discussões realizadas em sala, apresentando questionamentos que obrigavam o estudante a transcender o conhecimento compartimentado visto em sala de aula para que a resposta correta fosse dada, como as questões 07 e 14. Assim, era vital tornar a experimentação demonstrativa parte do processo de construção científica e dos esquemas mentais dos estudantes, incluindo-a em um conjunto amplo de ferramentas didáticas que levassem à compreensão da ciência, da prática da mesma e da natureza do conhecimento científico.

A pesquisa revelou, entretanto, que nas questões 02, 04, 06 e 10 o grupo experimental não apresentou evidências de uma maior aprendizagem que o grupo de controle. Apesar de ser este um resultado fortuito da pesquisa, acreditamos que ele terminou contribuindo para um maior entendimento das relações entre a experimentação e a aprendizagem. Afinal, três das perguntas (questões 02, 04 e 06) lidavam com a velocidade da luz, seja em comparação com outras ondas eletromagnéticas, seja sua dependência com o meio de propagação ou sua ordem de grandeza. E nenhum dos experimentos que conduzimos durante a pesquisa tinha como objetivo explícito a medição ou correlação dessa velocidade com outras grandezas. Assim, acreditamos que a igualdade estatística entre os resultados observados para os dois grupos se justifica nessas questões, pois no fundo eles não estiveram submetidos a abordagens diferenciadas no tocante a essas questões.

Já para a questão 10, na qual o grau de acerto foi acentuado nos dois grupos já no pré-teste (com relativa igualdade de resultados no pós-teste), acreditamos em uma diferente hipótese. A formulação simplista da pergunta acabou induzindo os estudantes à marcação de uma das respostas, a qual se revelou como correta. Nesse caso, a análise estatística também não permite fazer nenhuma inferência ou correlação entre as estratégias de ensino e o rendimento apresentado, pois o método de coleta de dados se revelou falho nessa situação.

Outra possibilidade de deficiência dos nossos resultados está na abrangência das perguntas formuladas. Procuramos fazer com que as perguntas cobrissem todo o conteúdo proposto, mas é claro que temas fundamentais não foram cobrados em sua completude; em particular, acreditamos que os temas relacionados aos espelhos curvos, à reflexão total e à difração da luz foram pouco abordados nos testes aplicados. A ausência ou pouca presença desses temas possui, indubitavelmente, um fator de influência nos resultados obtidos. Infelizmente, a magnitude dessa influência é difícil de ser estimada com os dados presentes.

O desenvolvimento dessa pesquisa culminou na elaboração de um produto didático, na qual exibimos em detalhes a nossa proposta de reconceitualização das atividades experimentais em sala de aula. Acreditamos que uma das contribuições desse produto é estreitar a relação entre o cotidiano da sala de aula e a pesquisa na área de experimentação em óptica. Várias das atividades experimentais que demonstramos para o grupo experimental se originaram (ou foram inspirados) em leituras que fizemos para a revisão bibliográfica. Apesar da ampla disponibilidade dessas atividades experimentais na rede mundial de computadores, elas não se encontram todas na mesma fonte, trazendo contratempos para o professor que desejar conhecê-las. A reunião de várias dessas fontes bibliográficas em um produto acadêmico único sem dúvida traz comodidade e praticidade para os profissionais que buscam fazer a ligação entre o cotidiano escolar e o mundo acadêmico.

Outra contribuição que acreditamos ter sido dada por esse trabalho está na revisão bibliográfica do mesmo. A pesquisa sobre experimentação no ensino de ciências é ampla, mas são tantas as linhas de ação e tantos os temas a serem pesquisados que uma catalogação mais eficiente se faz necessária. Dentro do tema da Óptica, acreditamos que o leitor da revisão se deparará com uma abordagem concisa, porém abrangente, da pesquisa nesse ramo na última década. O crescimento da área da

pesquisa em ensino de ciências levará naturalmente a ramificações, e nossa revisão aponta nessa direção.

Não podemos ignorar, obviamente, a principal contribuição que essa pesquisa trouxe, não em termos acadêmicos, mas em termos pessoais. O tempo dedicado à sua realização nos levou, inevitavelmente, a reflexões e alterações da nossa prática didática. Já víamos a experimentação como uma ferramenta didática: após a pesquisa, passamos a encará-la como parte integrante do processo de construção científica. Já sabíamos que um experimento tem o papel de motivar o aluno para a aprendizagem, mas foi através da pesquisa que observamos que esse papel é apenas introdutório: a condução da aprendizagem a partir dele passa necessariamente pela reconceitualização da atividade experimental imposta pelo professor. Encarávamos também a pesquisa acadêmica como algo distante do cotidiano escolar, e agora observamos que os autores possuem uma intensa preocupação com essa realidade, buscando a aproximação entre esses dois mundos. Percebemos que os traumas encarados pelos pesquisadores não divergem radicalmente dos nossos dramas cotidianos.

Houve muito que gostaríamos de investigar, mas o tempo hábil e a função específica desse trabalho nos obrigaram a deixar muito de lado. Em particular, deixamos de conduzir uma investigação sobre o potencial que experimentos em Óptica possuem para o aprendizado dos modelos corpuscular e ondulatório da luz. O papel da experimentação em outras áreas da Física, que era a nossa ideia original de pesquisa, também não pôde ser realizado por contingentes temporais. Uma correlação do papel da experimentação, quando vista sob diferentes referenciais teóricos, também é possível de ser incluído nessa lista.

Em particular, acreditamos que esse trabalho aponta para uma especificação cada vez maior da pesquisa em ensino de ciências, pois lidar com toda a Óptica geométrica (e partes da Óptica física) se revelou uma gigantesca montanha de dados e referências. Em uma perspectiva futura, acreditamos que nosso trabalho aponta a necessidade de pesquisas sobre temas mais específicos, mas ainda situados no contexto da Óptica. Apresentamos a seguir algumas linhas de pesquisa para onde aponta o escopo desse trabalho.

Nossa pesquisa evidenciou, por exemplo, que os estudantes apresentaram uma dificuldade notória nas questões ligadas à velocidade da luz, especialmente no tocante ao seu valor finito, sua ligação com o conceito de tempo e sua ligação com outras ondas

eletromagnéticas. Acreditamos que pesquisas futuras que investiguem a causa dessa insistente dificuldade são necessárias.

Outra de nossas perspectivas se relaciona com a intrigante disparidade entre o volume de pesquisa em um tema e a sua pequena aplicação efetiva no cotidiano escolar. Essa discrepância foi apontada por nosso trabalho, no tema do estudo da cor, em particular da adição e subtração de cores. Um grande número de autores se dedica a esse tema, sugerindo uma variedade de experimentos para explicá-lo, mas este tema está geralmente ausente em um curso tradicional de Óptica geométrica. Notamos aqui uma reclamação típica da área de pesquisa em ensino de ciências: apesar da produção crescente na área, não parece haver um retorno dessa produção para a escola. Assim, acreditamos que mais propostas de conexão entre a pesquisa e sua aplicação efetiva devem ser buscadas no meio acadêmico, mas com uma participação mais ativa do professor de ensino médio, pois cremos que esse profissional é o responsável último pela abordagem dos temas em sala de aula.

Observamos também que alguns dos experimentos que realizamos apresentaram “efeitos colaterais” que foram encarados pelos estudantes com grande interesse. Tais experiências incluem a reflexão de um laser em um espelho convexo, apresentando os anéis de Newton formados devido às irregularidades da superfície (Experimento 20), o surgimento de uma espiral formada pela luz emergente de um bastão de acrílico (Experimento 30), a reflexão total e múltiplas refrações de um feixe laser em uma peça de vidro (Experimento 33) e a aberração cromática na lente de Fresnel de um retroprojetor (Experimento 35). Não constatamos, em nossa revisão, nenhum trabalho que investigasse esses fenômenos, apesar da simplicidade em obtê-los. A nosso ver, se fazem necessários mais trabalhos voltados para a explicação física e a transposição didática desses e outros fenômenos, assim como da sua inclusão em um curso de Óptica ou Ondulatória.

Essa, aliás, é uma das nossas intenções futuras na pesquisa em ensino de ciências. Pretendemos continuar os estudos sobre o ensino de Óptica e suas aplicações, usando o ferramental que adquirimos ao longo do trabalho presente. Ao longo do trabalho, ficamos particularmente tentados a pesquisar os fenômenos descritos no parágrafo anterior, pois sua inclusão na literatura acadêmica viria a suprir as lacunas que nossa revisão evidenciou, além de contribuir intensamente para o aprimoramento das nossas técnicas didáticas.

Em última análise, o trabalho seminal de Hodson (1994) foi a mola-mestre e a inspiração primeira desse trabalho. Portanto, parafrasearemos o autor mais uma vez, para darmos o toque final nessa pesquisa. Acreditamos que, no fundo, a principal intenção desse trabalho é mostrar que, para que a experimentação seja eficiente no processo de ensino-aprendizagem, deve-se buscar “**mais** prática e **mais** reflexão”.

*Sing of a summer and a sunset
And sing for us, so that we may remember
The day writes the words right across the sky
They go all the way up to the top of the night.*

(Kate Bush, *Sunset*. Álbum: *Aerial*, 2005)

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V; MOREIRA, M. *Mapas conceituais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos da Óptica física*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n.4, p. 4403-1/7, Dezembro, 2008.

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. *Curso de Física, volume 2*. 6ª edição revista e ampliada, p.153-236; 255-265, Scipione, São Paulo, 2005.

ALVES, V. *A inserção de atividades experimentais no ensino de Física em nível médio: em busca de melhores resultados de aprendizagem*, Brasília, 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de ciências; área de concentração: Física), Institutos de Física, Química e Biologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

ARAÚJO, M. ABIB, M. *Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, n.2, Junho, 2003.

BARBETTA, P. *Estatística aplicada às Ciências Sociais*. 5ª edição, p. 211-238, Florianópolis, Editora da UFSC, 2002.

BASTOS, F.; NARDI, R.; DINIZ, R.; CALDEIRA, A. *Da necessidade de uma pluralidade de interpretações acerca do processo de ensino e aprendizagem em Ciências*. In: NARDI, R.; BASTOS, F.; DINIZ, R. (Orgs.). **Pesquisas em ensino de Ciências: contribuições para a formação de professores**. Escrituras Editora, p. 9-55, São Paulo, 2004.

BAUNE, S. *Faster than the brighter-light beacon*. **Physics Education**, v.44, n.3, p. 296-300, 2009.

BERNARDES, T.; BARBOSA, R.; BATAGIN, A.; IACHEL, G.; PINHEIRO, M.; SCALVI, R. *Abordando o ensino de Óptica através da construção de telescópios*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 391-396, 2006.

BERNARDES, T.; IACHEL, G.; SCALVI, R. *Metodologias para o ensino de Astronomia e Física através da construção de telescópios*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 1, p. 103-117, Abril, 2008.

BONJORNO, J.; BONJORNO, R.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. *Física: história & cotidiano: Termologia, Óptica, Ondulatória, Hidrodinâmica: 2*. 1ª edição, p. 127-236, FTD, São Paulo, 2004.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino médio): Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*, Brasília, MECSEF, 1998.

CANALLE, J.; SOUZA, A. *Simplificando a luneta com lente de óculos*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 121-130, Abril, 2005.

CARDOSO, H.; MENDES, J. *Improvizando dentro da sala de aula*. **Física na Escola**, v. 3, n. 2, p. 5-6, 2002.

CARLIN, N.; SZANTO, E.; JORGE, F.; SOUZA, F.; BECHTOLD, I.; SEALE, I. *A aproximação de lente fina é sempre válida em experimentos para determinação de distâncias focais?* **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 299-304, 2007.

CATCHPOLE, R. *The transit of Venus, 8 June 2004: a teachers' guide to finding the Earth-Sun distance*. **Physics Education**, v. 39, n.3, p. 252-266, 2004.

CATELLI, F. *Demonstre em aula. Projeção de espectros com um CD e retroprojektor*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 123-126, Abril, 1999.

CATELLI, F.; FRANCO, V. *Pense e responda! Imagens queimam?* **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 23, n. 3, p. 439-443, Dezembro, 2006.

CATELLI, F.; REIS, C. *Demonstre em aula: imagens dentro de lâmpadas*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 115-119, Abril, 2004.

CATELLI, F.; VICENZI, S. *Laboratório caseiro: transformando um laser de diodo para experimentos de Óptica física*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 393-406, Dezembro, 2002.

CATELLI, F.; VICENZI, S. *Óptica geométrica no café da manhã*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 392-400, Dezembro, 2004.

COLICCHIA, G. *Vision of fish in air*. **Physics Education**, v. 42, n. 2, p. 189-192, 2007.

COSTA, G.; CORTESE, B. SCURACHIO, R. CATUNDA, T. *Caixa de cores para o estudo da mistura de luzes coloridas*. **Física na Escola**, v. 9, n. 2, p. 25-28, 2008.

COSTA, I. *Pense e responda! Qual o comprimento e a profundidade de bits em CD, DVD e BD?* **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 3, p. 333-337, Dezembro, 2007.

DA ROSA, C.; DA ROSA, A. *Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio*. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, vol. 4, n. 1, 2005.

DIEGO, F. *The Sun in eclipse*. **Physics Education**, v. 34, n.3, p. 121-125, 1999.

DORNELLES, A. *Uma representação do fenômeno da interferência de ondas utilizando lâminas transparentes e retroprojeter*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 1, p. 87-93, Janeiro, 1998.

DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.; SCOTT, P. *Construindo conhecimento científico em sala de aula*. **Química Nova na Escola**, n. 9, p. 31-40, Maio, 1999.

FARKAS, N.; DONNELLY, K. HENRIKSEN, P.; RAMSIER, R. *The blind spot: re-educating ourselves about visual images*. **Physics Education**, v. 39, n.3, p. 294-297, 2004.

FARKAS, N.; HENRIKSEN, P.; RAMSIER, R. *Index of refraction without geometry*. **Physics Education**, v. 41, n. 1, p. 69-72, 2006.

FERRACIOLI, L. *Aspectos da construção do conhecimento e da aprendizagem na obra de Piaget*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 2, p. 180-194, Agosto, 1999.

GALLI, C.; SALAMI, M. *Registro de figuras de difração da luz em papel fotográfico*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 2, p. 242-245, ago. 1999.

GIRCOREANO, J.; PACCA, J. *O ensino da Óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n.1, p. 26-40, Abril, 2001.

GISL'EN, L.; MATTSSON, J. *Tabletop divergent-light halos*. **Physics Education**, v. 42, n.6, p. 580-584, 2007.

GRANDINI, N.; GRANDINI C. *Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do Curso de Licenciatura em Física*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 3, p.251-256, Setembro, 2004.

GUEDES, A.; BRAUN, L.; RIZZATI, M. *Simulador Didático do Cristalino Ocular*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, Março, 2000.

GUEDES, A.; BRAUN, L.; RIZZATI, M. *Visualização da miopia, da hipermetropia e do astigmatismo através do simulador didático do globo ocular*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 53-56, Março, 2001.

HARE, J. *Solar heaters and other parabolic devices*. **Physics Education**, v. 42, n. 3, p. 267-270, Maio, 2007.

HEWITT, P. *Física Conceitual*. 9. ed., p. 440-542, Porto Alegre, Bookman, 2002.

HODSON, D. *Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratório*. **Enseñanza de las ciencias**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

HUGHES, S. *What colour is a shadow?* **Physics Education**, v. 44, n. 3, p. 292-295, 2009.

JOHANSSON, K.; KOZMA, C.; NILSSON, C. *Observing the solar spectrum at the House of Science*. **Physics Education**, v. 42, n. 1, p. 41-44, 2007.

KALINOWSKI, H.; DUMMER, O.; GIFFHORN, E. *Produção de redes de difração por técnica fotográfica no ensino médio*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 248-254, 2001.

KAMATA, M.; MATSUNAGA, A. *Optical experiments using mini-torches with red, green and blue light emitting diodes*. **Physics Education**, v. 42, n. 6, p. 572-578, 2007.

KEEPORTS, D. *Reflections from a Fresnel lens*. **Physics Education**, v. 40, n.1, p. 60-66, Janeiro, 2005.

KRAPAS, S.; SANTOS, P. *Modelagem do espalhamento Rayleigh da luz com propósitos de ensino e de aprendizagem*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 341-350, Dezembro, 2002.

LABURÚ, C.; BARROS, M.; KANBACH, B. *A relação com o saber profissional do professor de Física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no ensino médio*. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.12, n.3, p.305-320, 2007.

LABURÚ, C.; LOPES, E. *Diâmetro de um fio de cabelo por difração (um experimento simples)*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 240-247, Agosto, 2001.

LABURÚ, C.; SILVA, H. *Invisibilidade da garrafa (a explicação correta)*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 111-114, Abril, 2004.

L'EVESQUE, L. *Refractive index determination of materials on thin transparent substrates using ellipsometry*. **Physics Education**, v. 35, n.5, p. 359-362, 2000.

LIMA, F.; ROCHA, J. *Eclipses solares e lunares*. **Física na Escola**, v. 5, n. 1, p. 22-24, 2004.

LOPES, A. *Pluralismo cultural em políticas de currículo nacional*. In: MOREIRA, A. (org.). **Currículo: políticas e práticas**, Papirus, p. 205-228, Campinas, 1999.

LORETO, É.; SARTORI, P. *Simulação da visão de cores: decodificando a transdução quântica-elétrica*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 266-286, 2008.

MAK, S.; YIP, D. *The measurement of the speed of light using a laser pointer*. **Physics Education**, v. 35, n. 2, p.95-100, 2000.

MAROTO, J.; VALVERDE, C.; TEJERO, J. *Description of additive colour mixing exhibits by using PC-designed Maxwell discs*. **Physics Education**, v. 41, n.5, p. 448-452, 2006.

MENDONÇA, R.; MISOGUTI, L.; MUNIZ, R.; TUBOY, M.; BAGNATO, V. *Demonstrações de reflexão total interna para alunos do segundo grau*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 3, Setembro, 1998.

MOREIRA, J. *Sombra de prédios e torres em cidades e de montanhas na região rural*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.25, n.1, p. 62-73, 2003.

MOREIRA, M. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo, EPU, 1999, p. 95-107.

MORTIMER, E. *Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?* **Investigações em ensino de ciências**, volume 1, número 1, p. 20 – 39, Porto Alegre, UFRGS, 1996.

MYINT, H.; MARPAUNG, A.; KURNIAWAN, H.; HATTORI, H.; KAGAWA, K. *Water droplet lens microscope and microphotographs*. **Physics Education**, v. 36, n. 2, p. 97-101, 2001.

NEWTON, I. *Opticks: Or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*. 1st Edition, London, Dover Publications, 1704. Disponível em <http://www.4shared.com/file/100242570/98552f3f/Opticks_-_scan_from_original_m.html?s=1>

NOPPARATJAMOJOMRAS, S.; CHITAREE, R.; PANIJPAN, B. *A handheld LED coloured-light mixer for students to learn collaboratively the primary colours of light*. **Physics Education**, v. 44, n. 2, p. 123-128, 2009.

PAULA, L.; RAGGI, P.; ASSIS, A. *Uma contribuição à construção de espelhos parabólicos*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 3, p. 338-352, Dezembro, 2007.

PIMENTEL, J. *Demonstre em aula. Lentes biconvexas convergentes e divergentes*. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 349-352, Dezembro, 1999.

PIONÓRIO, N.; RODRIGUES, J.; BERTUOLA, A. C. *Correções da aberração cromática no contexto da Óptica geométrica*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.30, n. 3, p. 3315-1/10, 2008.

RAMALHO, F.; FERRARO, N.; TOLEDO, P. *Os fundamentos da Física 2*. 9ª edição revista e ampliada, p. 217-372, Moderna, São Paulo, 2007.

REID, A. *The physics of the data projector*. **Physics Education**, v. 43, n. 6, p. 599-602, 2008.

SABA, M.; RAPOZO, R.; SANTANA, G. *Fotografando-se o que não se vê*. **Física na Escola**, v. 3, n. 1, p. 12-14, 2002.

SABA, M.; EPIPHANIO, I. *Abrindo o olho: dissecando um olho de boi para entender a Óptica do olho humano*. **Física na Escola**, v. 2, n. 2, p. 16-18, 2001.

SALINAS, J.; SANDOVAL, J. *Enseñanza Experimental de la Óptica Geométrica: Campos de Visión de Lentes y Espejos*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p. 259-265, Junho, 2000.

SANG, D. *The eclipse in the curriculum*. **Physics Education**, v. 34, n.3, p. 126-129, 1999.

SILVA, A.; TOPA, P. *A magenta gap in the colour wheel*. **Physics Education**, v. 36, n.1, p. 71-74, 2001.

SILVA, F.; MURAMATSU, M. *Medindo refração de líquidos usando difração da luz*. **Física na Escola**, v. 8, n. 1, 2007.

SILVA, M. *Esclarecendo o significado de “cor” em Física*. **Física na Escola**, v. 8, n. 1, p. 25- 26, 2007.

SILVEIRA, F.; AXT, R. *O que vemos quando projetamos a luz do Sol com um espelho plano: manchas luminosas ou imagens?* **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 3, p. 353-359, Dezembro, 2001.

SILVEIRA, F.; AXT, R. *Uma dificuldade recorrente em Óptica geométrica - Uma imperceptível descontinuidade de imagem na lupa*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 421-425, 2006.

SILVEIRA, F.; AXT, R. *O eclipse solar e as imagens produzidas no chão ou numa parede*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 3, p. 353-359, Dezembro, 2007.

SILVEIRA, F.; AXT, R.; PIRES, M. *O que vemos quando nos miramos em um espelho côncavo?* **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 19-25, 2004.

SILVEIRA, F.; SARAIVA, M. *O encolhimento das sombras*. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 228-246, 2008a.

SILVEIRA, F.; SARAIVA, M. *As cores da lua cheia*. **Física na Escola**, v. 9, n. 2, 2008b.

SIMAAN, A. *The transit of Venus across the Sun*. **Physics Education**, v.39, n. 3, p. 247-251, 2004.

SPRINGHAM, S. *Cost-effective experiments on the diffraction and interference of light*. **Physics Education**, v. 36, n. 1, p. 64-68, Janeiro, 2000.

VANNONI, M.; BASSUAH, P.; MOLESINI, G. *Making a microscope with readily available materials*. **Physics Education**, v. 42, n.4, p. 385-390, 2007.

VILLAS-BÔAS, N.; DOCA, R. BISCUOLA, G. *Tópicos de Física 2 – Termologia, Ondulatória e Óptica*. 16ª edição reformada e ampliada, p 314-496, Saraiva, São Paulo, 2001.

VISCOVINI, R. *Kit de experimentos ópticos com apontador laser*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, Março, 2000.

VOLLMER, M. *Diffraction revisited: position of diffraction spots upon rotation of a transmission grating*. **Physics Education**, v. 40, n. 6, p. 562-565, 2005.

VUOLO, J.; FURUKAWA, C. Modelos de componentes óticos em resina. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 2, p. 280-288, 1999.

WARREN, T.; HENRIKSEN, P.; RAMSIER, R. *A student activity on visual resolving power*. **Physics Education**, v. 38, n. 5, 413-417, 2003.

WONG, S.; MAK, S. *Investigative studies of refractive indices of liquids and a demonstration of refraction by the use of a laser pointer and a lazy Susan*. **Physics Education**, v. 43, n. 2, p. 198-202, 2008.

YURUMEZOGLU, K. *An entertaining method of teaching concepts of linear light propagation, reflection and refraction using a simple optical mechanism.* **Physics Education**, v. 44, n. 2, p. 129-132, 2009.

*This is the end
My only friend, the end.*

(The Doors, *The End*. Álbum: *The Doors*, 1967)

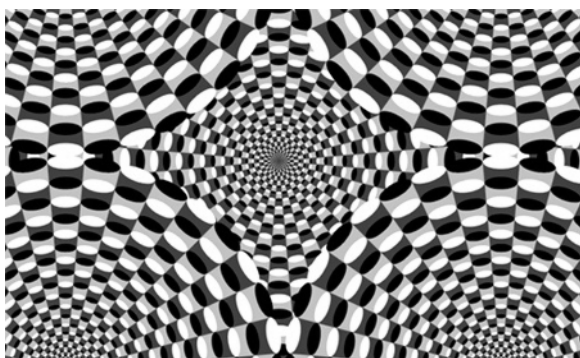
Anexo 1

Pré-teste



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
 INSTITUTOS DE BIOLOGIA, FÍSICA E QUÍMICA
 MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENSINO DE CIÊNCIAS

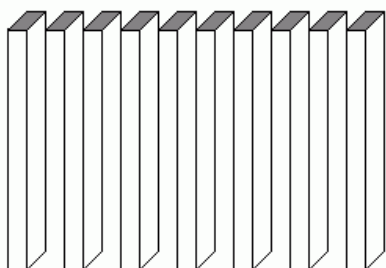
Teste inicial



Ilusão 01: Algo se move?

01. Um amigo lhe diz, em um tom profundo, que a luz é a única coisa que somos capazes de ver. Seu amigo está correto?

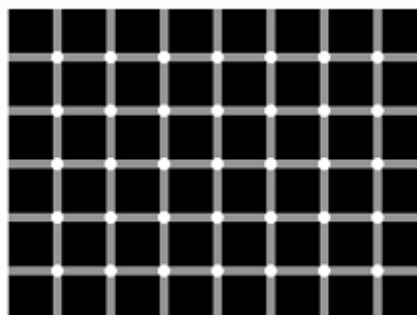
- a) Sim.
- b) Não.
- c) Parcialmente correto.
- d) Não sei.



Ilusão 02: Quantas caixas há na figura?

02. Com que velocidade as ondas de rádio se propagam?

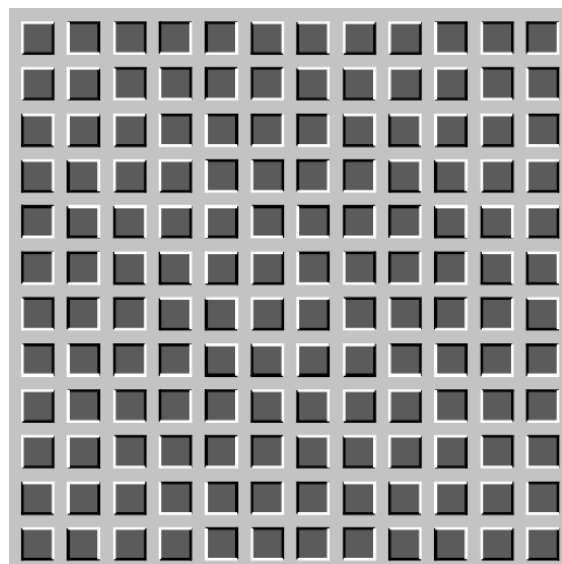
- a) Próxima à velocidade do som.
- b) Próxima à velocidade da luz.
- c) Superior à velocidade da luz, no vácuo.
- d) Inferior à velocidade da luz, no vácuo.



Ilusão 03 : Conte as bolinhas pretas.

03. Por que o céu é escuro quando visto da Lua?

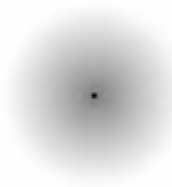
- a) Porque a Lua não tem atmosfera.
- b) Porque a Lua está em um lado oposto do Sol, em comparação com a Terra.
- c) Porque o céu somente é escuro no “lado negro” da Lua, não iluminado pelo Sol.
- d) Porque o conceito de céu só faz sentido na Terra.



Ilusão 04: Algo está vivo.

04. Quando você olha para a sua mão, o que você vê?

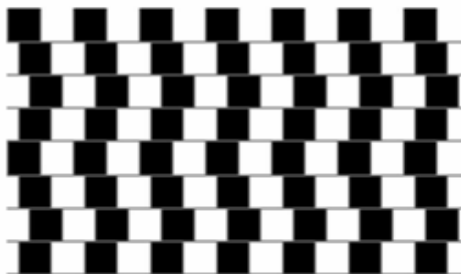
- a) A imagem da mão como ela é no presente.
- b) A imagem da mão como ela era no passado.
- c) A imagem da mão como ela será no futuro.
- d) A imagem da mão como ela foi, é e será.



Ilusão 05: Concentre-se no pontinho preto. Depois de um tempo, a neblina em volta dele encolherá!

05. Segurando um espelho de bolso a uma distância de seu rosto quase igual ao comprimento de seu braço estendido, você provavelmente não conseguirá enxergar todo o seu rosto. Para enxergar uma maior porção do seu rosto, como você deveria segurar o espelho?

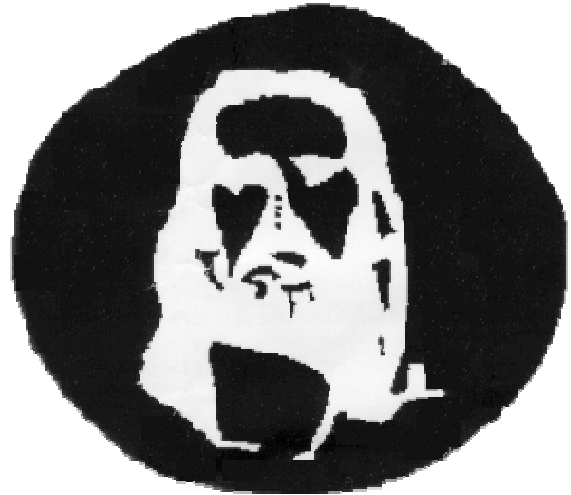
- a) Mais próximo ao rosto.
- b) Um pouco mais afastado do rosto.
- c) Muito mais afastado do rosto.
- d) Independentemente da posição do espelho, sempre será vista a mesma porção do rosto (proporcionalmente ao tamanho do rosto).



Ilusão 06: As linhas horizontais são paralelas?

06. Onde a luz é mais rápida?

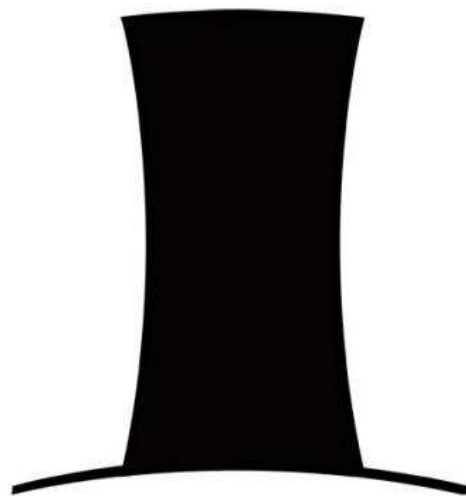
- a) Na alta atmosfera.
- b) Na baixa atmosfera.
- c) Na superfície da água.
- d) No fundo da água.



Ilusão 07: Olhe para a figura, depois para uma parede branca.

07. A atmosfera de Júpiter tem mais de 1000 km de espessura. Qual a cor que você esperaria para o Sol, visto através dessa atmosfera?

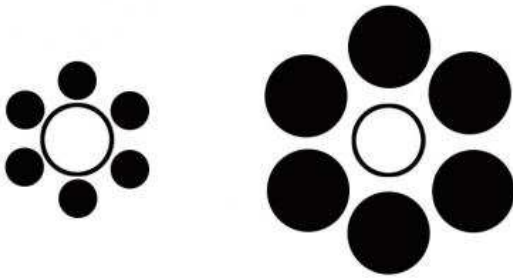
- a) Vermelho
- b) Azul
- c) Branco
- d) Preto



Ilusão 08: O chapéu é mais alto ou mais largo?

08. Por que o céu é azul?

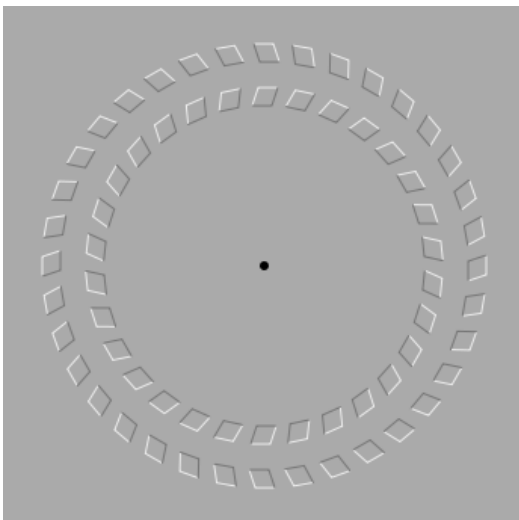
- a) É somente uma ilusão de ótica. O céu, na verdade, é levemente amarelado, mas nossos olhos se acostumam com tal cor e detectam apenas a sua complementar, o azul.
- b) A cor do ar é levemente azulada, e em grandes proporções esse azul é realçado.
- c) As cores azul, anil e violeta são capazes de se espalhar mais que as outras, quando passam pelas moléculas do ar, na maior parte do dia. A combinação dessas três cores produz o céu azul.
- d) Porque o ar absorve as outras radiações, sobrando somente a radiação de cor azul.



Ilusão 09: Qual círculo branco é maior?

09. Como seria o brilho de um diamante mergulhado em água?

- a) Maior que o brilho quando ele está no ar.
- b) Menor que o brilho quando ele está no ar.
- c) Igual ao brilho quando ele está no ar.
- d) Não haveria brilho.



Ilusão 10: Movimente sua cabeça e observe!

10. O que um peixe enxerga quando ele olha para cima num ângulo de 45°?

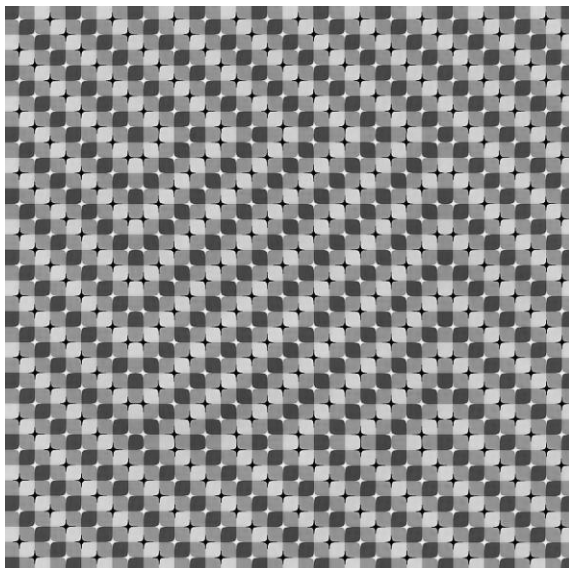
- a) O céu.
- b) O reflexo do fundo.
- c) O reflexo de si próprio.
- d) Nada.



Ilusão 11: Olhe com atenção!

11. Que tipo de rodovia é mais fácil de enxergar quando se dirige durante a noite, uma superfície irregular empedrada ou uma superfície lisa parecida com um espelho? Por que?

- a) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em todas as direções.
- b) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.
- c) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em várias direções.
- d) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.



Ilusão 12: Lento movimento.

12. Por que um avião voando alto projeta pouca ou nenhuma sombra sobre o solo, ao passo que um avião que voa baixo projeta uma sombra bem nítida?

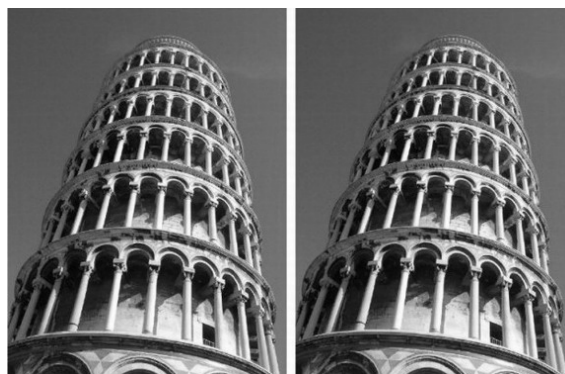
- a) Porque a sombra do avião é muito pequena quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra aumenta de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível.
- b) Porque a sombra do avião é muito grande quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra diminui de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível.
- c) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Próximo ao solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra mais nítida.
- d) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Longe do solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra menos nítida.



Ilusão 13: Dados confusos.

14. Em qual dos casos uma banana madura parecerá preta?

- a) Quando iluminada com luz vermelha.
- b) Quando iluminada com luz verde.
- c) Quando iluminada com luz azul.
- d) Quando iluminada com luz magenta.



Ilusão 14: Qual torre está mais inclinada?

14. Uma antena parabólica é basicamente um grande prato parabólico, constituído por uma grade metálica vazada. Como ela se comporta?

- a) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e como uma superfície lisa para a luz.
- b) Como um refletor difuso para a luz e como uma superfície lisa para as ondas de rádio.
- c) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e para a luz.
- d) Como uma superfície lisa para as ondas de rádio e para a luz.

Anexo 2

Pós-teste



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Instituto de Ciências Biológicas

Instituto de Física

Instituto de Química

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS

Teste final

01. Um amigo lhe diz, em um tom profundo, que a luz é a única coisa que somos capazes de ver. Seu amigo está correto?

- a) Sim.
- b) Não.
- c) Parcialmente correto.
- d) Totalmente errado.

02. Com que velocidade as ondas de rádio se propagam?

- a) Próxima à velocidade do som.
- b) Próxima à velocidade da luz.
- c) Superior à velocidade da luz, no vácuo.
- d) Inferior à velocidade da luz, no vácuo.

03. Por que o céu é escuro quando visto da Lua?

- a) Porque a Lua não tem atmosfera.
- b) Porque a Lua está em um lado oposto do Sol, em comparação com a Terra.
- c) Porque o céu somente é escuro no “lado negro” da Lua, não iluminado pelo Sol.
- d) Porque o conceito de céu só faz sentido na Terra.

04. Quando você olha para a sua mão, o que você vê?

- a) A imagem da mão como ela é no presente.
- b) A imagem da mão como ela era no passado.
- c) A imagem da mão como ela será no futuro.
- d) A imagem da mão como ela foi, é e será.

05. Segurando um espelho de bolso a uma distância de seu rosto quase igual ao comprimento de seu braço estendido, você provavelmente não conseguirá enxergar todo o seu rosto. Para enxergar uma maior porção do seu rosto, como você deveria segurar o espelho?

- a) Mais próximo ao rosto.
- b) Um pouco mais afastado do rosto.
- c) Muito mais afastado do rosto.
- d) Independentemente da posição do espelho, sempre será vista a mesma porção do rosto (proporcionalmente ao tamanho do rosto).

06. Onde a luz é mais rápida?

- a) Na alta atmosfera.
- b) Na baixa atmosfera.
- c) Na superfície da água.
- d) No fundo da água.

07. A atmosfera de Júpiter tem mais de 1000 km de espessura. Qual a cor que você esperaria para o Sol, visto através dessa atmosfera?

- a) Vermelho
- b) Azul
- c) Branco
- d) Preto

08. Por que o céu é azul?

- a) É somente uma ilusão de ótica. O céu, na verdade, é levemente amarelado, mas nossos olhos se acostumam com tal cor e detectam apenas a sua complementar, o azul.
- b) A cor do ar é levemente azulada, e em grandes proporções esse azul é realçado.
- c) As cores azul, anil e violeta são capazes de se espalhar mais que as outras, quando passam pelas moléculas do ar, na maior parte do dia. A combinação dessas três cores produz o céu azul.
- d) Porque o ar absorve as outras radiações, sobrando somente a radiação de cor azul.

09. Como seria o brilho de um diamante mergulhado em água?

- a) Maior que o brilho quando ele está no ar.
- b) Menor que o brilho quando ele está no ar.
- c) Igual ao brilho quando ele está no ar.
- d) Não haveria brilho.

10. O que um peixe enxerga quando ele olha para cima num ângulo de 45° ?

- a) O céu.
- b) O reflexo do fundo.
- c) O reflexo de si próprio.
- d) Nada.

11. Que tipo de rodovia é mais fácil de enxergar quando se dirige durante a noite, uma superfície irregular empedrada ou uma superfície lisa parecida com um espelho? Por que?

- a) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em todas as direções.
- b) A superfície irregular, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.
- c) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis dos outros carros em várias direções.
- d) A superfície lisa, pois ela reflete os raios de luz vindos dos faróis apenas na direção dos olhos do motorista.

12. Por que um avião voando alto projeta pouca ou nenhuma sombra sobre o solo, ao passo que um avião que voa baixo projeta uma sombra bem nítida?

- a) Porque a sombra do avião é muito pequena quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra aumenta de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível.
- b) Porque a sombra do avião é muito grande quando ele está voando alto, sendo praticamente imperceptível. Ao se aproximar do solo, a sombra diminui de tamanho e ganha nitidez, se tornando visível.
- c) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Próximo ao solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra mais nítida.
- d) Na verdade, a sombra do avião tem o mesmo tamanho no solo, independentemente dele estar voando alto ou baixo. Longe do solo, a energia luminosa absorvida pelo avião é maior, e portanto observa-se uma sombra menos nítida.

13. Em qual dos casos uma banana madura parecerá preta?

- a) Quando iluminada com luz vermelha.
- b) Quando iluminada com luz verde.
- c) Quando iluminada com luz azul.
- d) Quando iluminada com luz magenta.

14. Uma antena parabólica é basicamente um grande prato parabólico, constituído por uma grade metálica vazada. Como ela se comporta?

- a) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e como uma superfície lisa para a luz.
- b) Como um refletor difuso para a luz e como uma superfície lisa para as ondas de rádio.
- c) Como um refletor difuso para as ondas de rádio e para a luz.
- d) Como uma superfície lisa para as ondas de rádio e para a luz.

Anexo 3

Créditos das figuras do pré-teste

- **Ilusão 01:** retirada de <http://tigrededefogo.files.wordpress.com/2007/05/ilusao-optica-optical-illusion-tigrededefogo-wordpress-com.jpg>. Acessada em 05 fev 2008.

- **Ilusão 02:** retirada de <http://www.inkblotmazes.com/images/Maze%20Blivet%20Optical%20Illusion%20medium%20.gif>. Acessada em 06 fev 2008.

- **Ilusão 03:** retirada de <http://eyetricks.com/0101.htm>. Acessada em 06 fev 2008.

- **Ilusão 04:** retirada de <http://www.opticalillusions.com/minolta.gif>. Acessada em 03 fev 2008.

- **Ilusão 05:** retirada de <http://blogmais.files.wordpress.com/2008/05/ilusao-ponto-preto.jpg>. Acessada em 04 fev 2008.

- **Ilusão 06:** retirada de <http://www.eyetricks.com/0102.htm>. Acessada em 06 fev 2008.

- **Ilusão 07:** retirada de http://www.edumedeiros.com/imagens/gif/curiosidades/ilusao_de_otica/jesus.gif. Acessada em 06 fev 2008.

- **Ilusão 08:** retirada de http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/image09/09_01_37.gif. Acessada em 03 fev 2008.

- **Ilusão 09:** retirada de <http://www.eyetricks.com/0105.htm>. Acessada em 05 fev 2008.

- **Ilusão 10:** retirada de http://en.wikipedia.org/wiki/File:Revolving_circles.svg. Acessada em 04 fev 2008.

- **Ilusão 11:** retirada de <http://www.irrationaltheatre.co.uk/wp-content/images/irrational-thoughts-optical-illusion-1-570x427.jpg>. Acessada em 06 fev 2008.

- **Ilusão 12:** retirada de http://www.opticalillusions.com/Optical_Illusion_5.jpg. Acessada em 06 fev 2008.

- **Ilusão 13:** retirada de http://www.geckoandfly.com/wp-content/uploads/2007/05/dices_optical_illusion.jpg. Acessada em 05 fev 2008.

- **Ilusão 14:** retirada de <http://yeinjee.com/discovery/wp-content/uploads/2007/12/pisa-leaning-tower-optical-illusion.jpg>. Acessada em 06 fev 2008.

Anexo 4

Folha de consolidação de resultados (pré-teste e pós-teste)

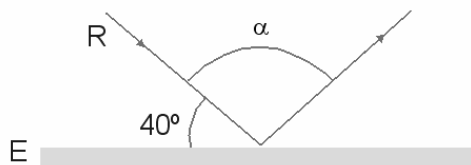
		UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA INSTITUTOS DE BIOLOGIA, FÍSICA E QUÍMICA MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENSINO DE CIÊNCIAS																																							
		FOLHA DE GABARITO																																							
Aluno	Questão	Grupo de controle																																							
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14																										
01		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
02		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
03		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
04		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
05		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
06		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
07		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
08		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
09		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
10		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
11		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
12		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
14		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
15		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
16		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
17		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
18		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
19		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
20		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
21		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
22		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
23		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
24		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
25		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
26		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
27		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
28		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
29		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
30		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D

Anexo 5

Exercícios sobre reflexão da luz

Questão 149 (BONJORNO et al., 2004., 2004, p. 366)

(UERN) O esquema representa um raio de luz r que incide num espelho plano E sendo refletido.



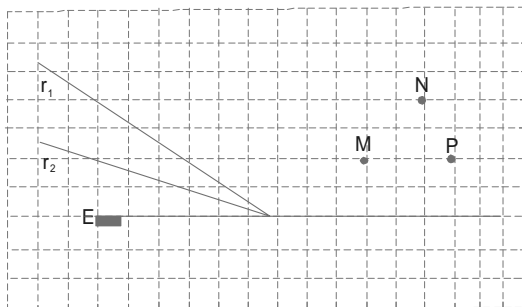
Nessa reflexão, o ângulo (α), indicado no esquema vale, em graus:

- a) 50
- b) 60
- c) 70
- d) 80
- e) **100 (correta)**

A lei que governa a reflexão (igualdade dos ângulos de incidência e reflexão) foi apresentada experimentalmente em sala (**Experimento 11**) e um esquema de representação da experiência foi desenhado no quadro para os estudantes. Nessa questão, nosso desejo era verificar se os alunos compreenderam o real significado dos ângulos de incidência e reflexão, além da construção da trajetória do raio de luz. Os alunos não apresentaram grandes problemas na resolução dessa questão.

Questão 150 (BONJORNO et al., 2004, p. 366)

(UEL) Os raios de luz r_1 e r_2 incidem num espelho plano E, conforme está indicado no esquema abaixo.



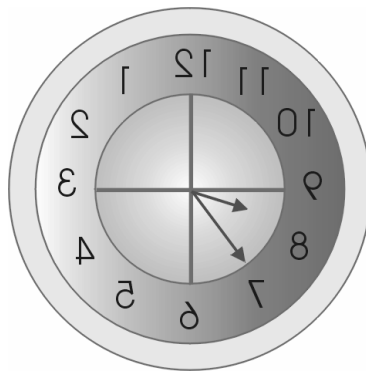
Pode-se afirmar corretamente que os raios refletidos, correspondentes a r_1 e r_2 , passam, respectivamente, pelos pontos:

- a) M e N
- b) N e P
- c) P e N
- d) M e P (correta)**
- e) N e M



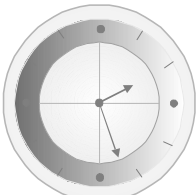
Novamente, o objetivo da questão é testar se o aluno compreendeu as leis da reflexão, em especial a igualdade dos ângulos de incidência e reflexão, a partir das experiências conduzidas em sala. Novamente, essa questão foi identificada como fácil pelos alunos, e não lhes apresentou grandes dificuldades.

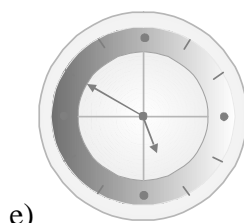
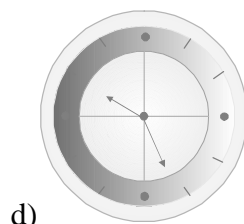
Questão 154 (BONJORNO et al., 2004, p. 367)

(MACKENZIE) Com o objetivo de proporcionar maior conforto aos seus clientes, o proprietário de um salão de cabeleireiros colocou na parede oposta à dos espelhos (planos) um relógio semelhante ao da figura, que aponta 8h 35min.



Desta forma, uma pessoa que está sendo atendida pode saber, por reflexão num dos espelhos, a hora certa. Quando forem 18h 50min, os ponteiros do referido relógio deverão ocupar as posições da figura:

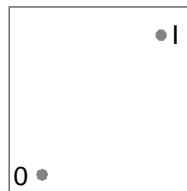
- a) 
- b)  **(correta)**
- c) 



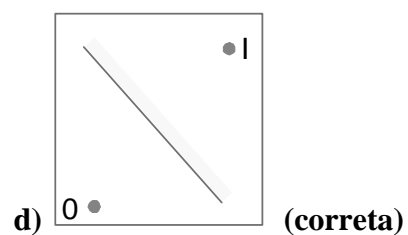
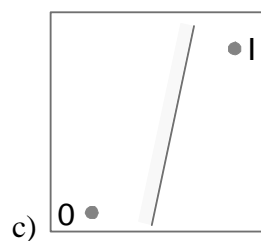
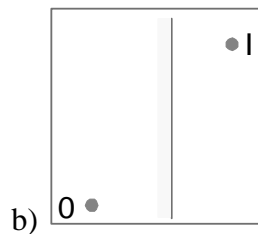
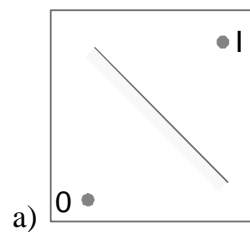
O enantiomorfismo (reversão da imagem) é uma típica propriedade da reflexão em espelhos planos, a qual foi demonstrada sem sala através de experiências e de uma pequena atividade “teatral” (**Experimento 14**). Nessa questão, é apresentado um objeto reverso, como as letras presentes na frente de ambulâncias, o que é pouco freqüente no dia a dia, mas cuja imagem será mais facilmente visualizada e compreendida pelo observador. O enunciado dessa questão não foi de fácil compreensão para os alunos, o que os levou a uma variedade de erros.

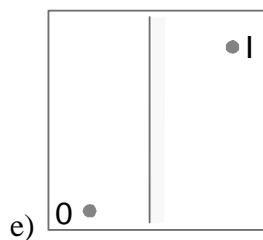
Questão 367 (BONJORNO et al., 2004, p.156)

(UFPB) Um objeto luminoso, O, tem uma imagem, I, formada por um espelho plano com apenas uma face espelhada. As posições do objeto e de sua imagem estão representadas na figura abaixo.



A posição correta do espelho, cuja face não espelhada está indicada por uma linha verde, é a da figura:

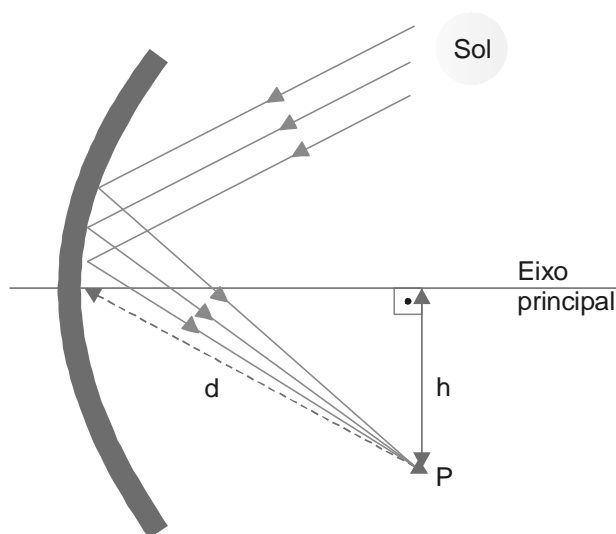




A simetria é uma propriedade importante dos espelhos planos, e crucial para o entendimento da formação da imagem nesses sistemas ópticos. Espelhos inclinados são freqüentes no cotidiano, estando presentes em automóveis, por exemplo. Em sala, também foram demonstradas experiências mostrando o desvio de raios luminosos por espelhos inclinados (**Experimento 11** e **Experimento 15**).

Questão 43 (BONJORNO et al., 2004, p. 172)

(FUVEST) No século III a.C., Arquimedes teria liderado guerreiros da Sicília - na época pertencente à Magna Grécia - na defesa da cidade de Siracusa, vítima constante de ataques marítimos de frotas romanas. Conta-se que ele instalava na região costeira da ilha espelhos ustórios (ou incendiários), que consistiam em enormes calotas esféricas polidas na parte côncava, que “concentravam” os raios solares, produzindo fogo nas galeras inimigas.



O esquema abaixo representa um desses espelhos, em operação de acordo com as condições de Gauss, e a trajetória seguida pela luz até um ponto fatal P, de alta concentração energética. Supondo-se conhecidos os comprimentos d e h, o raio de curvatura do espelho fica determinado por:

- a) $(d^2 - h^2)^{1/2}$
- b) $2(d^2 - h^2)^{1/2}$ (correta)
- c) $(d^2 + h^2)^{1/2}$
- d) $2(d^2 + h^2)^{1/2}$
- e) $(h^2 - d^2)^{1/2}$

Essa questão foi considerada pelos estudantes, em conversas informais com os mesmos, como a mais difícil da lista, provavelmente devido ao seu tratamento exclusivamente literal. A questão permitiu a discussão da hipotética experiência de

Arquimedes, para a qual não existe consenso sobre a possibilidade ou não de sua realização (THUILLIER, 1999, p. 115), e nossa intenção era correlacioná-la com a atividade na qual dois feixes laser convergiram após incidência em um espelho côncavo (**Experimento 18**).

A matemática exigida (teorema de Pitágoras) não era complexa, mas mesmo assim a questão não foi realizada por boa parte dos alunos. O fato de uma raiz quadrada ter sido exibida como um expoente ($\frac{1}{2}$) apresentou uma dificuldade adicional. Ademais, também houve a dificuldade de encarar o centro como duas vezes mais distante que o foco do espelho. Nenhum aluno dos dois grupos relatou ter acertado a questão.

Questão 171 (BONJORNO et al., 2004, p. 369)

(VUNESP) Uma pessoa observa a imagem de seu rosto refletida numa concha de cozinha semiesférica perfeitamente polida em ambas as faces. Enquanto na face côncava a imagem do rosto dessa pessoa aparece:

a) invertida e situada na superfície da concha, na face convexa ela aparecerá direita, também situada na superfície;

b) invertida e à frente da superfície da concha, na face convexa ela aparecerá direita e atrás da superfície; (correta)

c) direita e situada na superfície da concha, na face convexa ela aparecerá invertida e atrás da superfície;

d) direita e atrás da superfície da concha, na face convexa ela aparecerá também direita, mas à frente da superfície;

e) invertida e atrás na superfície da concha, na face convexa ela aparecerá direita e à frente da superfície.

A diferença entre as imagens reais e virtuais, além da sua correlação com a orientação (invertida ou direita) é o foco dessa questão. Escolhemos essa questão pelo fato da formação de imagens ter sido demonstrada experimentalmente no grupo experimental (**Experimento 21** e **Experimento 22**), além de termos apresentado o formalismo geométrico que explica as construções em ambos os grupos.

Questão 172 (BONJORNO et al., 2004, p. 369)

(FMTM) Uma estudante, em sua casa, observa um vaso de vidro transparente esférico vazio e nele vê duas imagens da mesma janela, localizada à frente do vaso. Isso ocorre porque as superfícies do vaso funcionam como espelhos esféricos.

A externa, mais próxima da janela, equivale a um espelho convexo; a interna, mais afastada, equivale a um espelho côncavo. Pode-se afirmar que essas imagens estão localizadas:

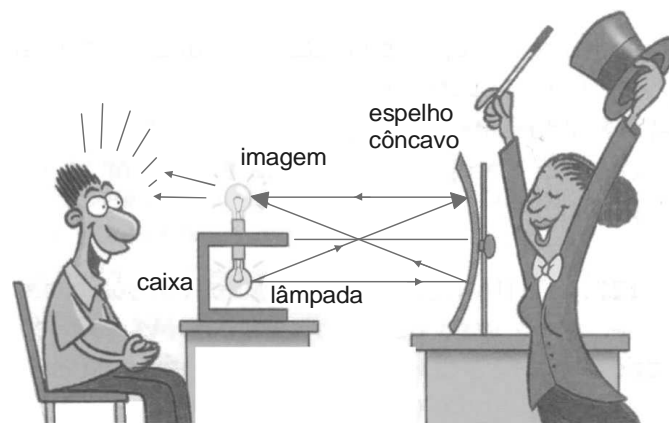
- a) fora do vaso e são, ambas, direitas;
- b) fora do vaso e são, ambas, invertidas;
- c) dentro do vaso e são, ambas, direitas;
- d) dentro do vaso e são, ambas, invertidas;
- e) dentro do vaso, uma é direita e outra é invertida. (correta)**

No grupo experimental, a mesma situação física foi apresentada, usando-se uma lâmpada como conjunto de dois espelhos (**Experimento 24**). Já no grupo de controle, essa situação não foi mostrada experimentalmente, mas nos pareceu importante que a discussão fosse feita, como complemento e ilustração da aula dedicada às construções geométricas de imagens.

Questão 174 (BONJORNO et al., 2004, p. 370)

(UFRN) Mary Scondy, uma ilusionista amadora, fez a mágica conhecida como lâmpada fantasma. Instalou uma lâmpada incandescente no interior de uma caixa, aberta em um dos lados. A parte aberta da caixa estava voltada para a frente de um espelho côncavo, habilmente colocado para que a imagem da lâmpada pudesse ser formada na parte superior da caixa, conforme representado esquematicamente na figura abaixo.

A lâmpada tinha uma potência de 40 W e inicialmente estava desligada. Quando Mary ligou o interruptor escondido, a lâmpada acendeu, e Josué, um dos espectadores, tomou um susto, pois viu uma lâmpada aparecer magicamente sobre a caixa.



Com base na figura e no que foi descrito, pode-se concluir que, ao ser ligada a lâmpada, ocorreu a formação de:

- a) **uma imagem real, e a potência irradiada era de 40W; (correta)**
- b) uma imagem real, e a potência irradiada era de 80W;
- c) uma imagem virtual, e a potência irradiada era de 40 W;
- d) uma imagem virtual, e a potência irradiada era de 80 W.

Essa questão foi escolhida por apresentar uma imagem real não projetada. Para o grupo experimental, foi realizada uma demonstração prática dessa situação (**Experimento 23**), usando um conjunto de dois espelhos côncavos. No grupo de controle, esse experimento foi questionado por alguns estudantes, que já o haviam observado em sítios da Internet, e havia sido explicado apenas de forma teórica.

Um fator de dúvida para os estudantes na interpretação dessa questão foi a potência irradiada pela imagem: afinal, a imagem não é tão nítida quanto o objeto, como foi demonstrado em várias das demonstrações (**Experimentos 21, 22, 23 e 24**). Assim, sua potência não pode ser igual à emitida pela lâmpada, fato só possível com uma forte idealização da experiência real.

Questão 175 (BONJORNO et al., 2004, p. 370)

(FURB) Um grupo de campistas, num dia ensolarado, defronta-se com um problema: possuem alguns palitos de fósforos, mas não possuem nada para acendê-los. Decorrido algum tempo, uma jovem lembrou que possuía dois espelhos esféricos, um côncavo e outro convexo. Para que o palito de fósforo pudesse incendiar-se utilizando o sol, melhor seria empregar o espelho:

a) convexo e a cabeça do palito situada no ponto médio entre o foco e o centro do espelho;

b) côncavo e a cabeça do palito situada no foco do espelho; (correta)

c) convexo e a cabeça do palito situada no centro do espelho;

d) convexo e a cabeça do palito situada no foco do espelho;

e) côncavo e a cabeça do palito situada no centro do espelho

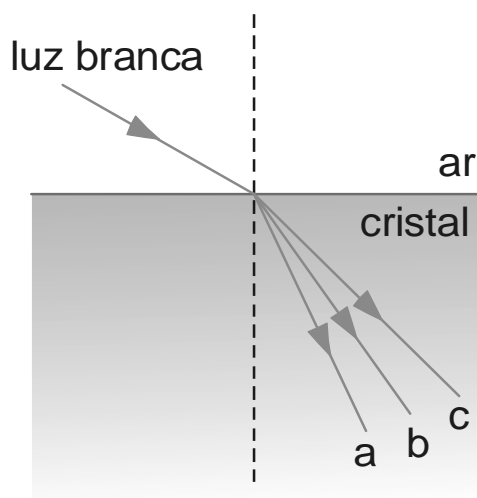
Novamente, a concentração de raios paralelos no foco de um espelho côncavo (e mesmo a possibilidade prática desse fato) é discutida nessa questão. Ao contrário da questão 43, por não envolver uma matemática elaborada, essa questão foi considerada como fácil pelos estudantes, em um questionamento informal.

Anexo 6

Exercícios sobre refração da luz

Questão 182 (BONJORNO et al., 2004, p.371)

(UMC) Quando um feixe de luz branca incide sobre a superfície de separação do ar com um cristal, como na figura, a luz se dispersa porque o índice de refração do cristal depende da cor (ou da frequência) da luz componente da luz branca. Sendo $n_1 = 1,26$; $n_2 = 1,35$ e $n_3 = 1,60$, respectivamente, os índices de refração do cristal para as cores vermelha, amarela e azul, podemos afirmar sobre a cor dos raios refratados da figura que:

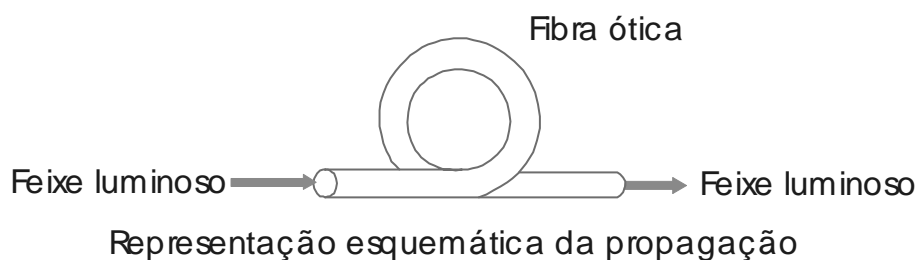


- a) *a* é azul, *b* é vermelho e *c* é amarelo;
- b) *a* é azul, *b* é amarelo e *c* é vermelho; (correta)**
- c) *a* é vermelho, *b* é azul e *c* é amarelo;
- d) *a* é vermelho, *b* é amarelo e *c* é azul;
- e) *a* é amarelo, *b* é azul e *c* é vermelho.

Essa questão foi escolhida a fim de checar se os estudantes haviam compreendido que a luz vermelha, por possuir maior velocidade que as demais, se desviaria (ou refrataria) menos que as outras. Durante a correção, percebemos um forte grau de aleatoriedade nas respostas em ambos os grupos. Mesmo os alunos do grupo experimental, os quais visualizaram os **Experimentos 06, 34 e 35**, que versavam sobre a dispersão da luz branca, não apresentaram um maior grau de acerto, em uma consulta informal.

Questão 188 (BONJORNO et al., 2004, p. 372)

(UFRN) Uma fibra ótica, mesmo encurvada, permite a propagação de um feixe de luminoso em seu interior, de uma extremidade à outra, praticamente sem sofrer perdas (veja a figura abaixo).



A explicação física para o fato acima descrito é a seguinte: como o índice de refração da fibra ótica, em relação ao índice de refração do ar, é:

- a) baixo, ocorre a reflexão interna total;
- b) alto, ocorre a reflexão interna total; (correta)**
- c) alto, a refração é favorecida, dificultando a saída dos feixes pelas laterais;
- d) baixo, a refração é favorecida, dificultando a saída dos feixes pelas laterais.

A fibra ótica é provavelmente o exemplo mais popular da reflexão total, e os **Experimentos 29, 30, 31 e 32** foram conduzidos no grupo experimental para simular o seu comportamento. Em particular, o último desses experimentos apresentou a reflexão total em um bastão de acrílico curvo, como na figura desse exercício. Assim, acreditamos que a escolha dessa questão foi justificada pela necessidade de checar se os conflitos cognitivos induzidos pela apresentação de tais experimentos foram resolvidos, produzindo um fortalecimento do esquema mental dos estudantes.

Questão 184 (BONJORNO et al., 2004, p. 372)

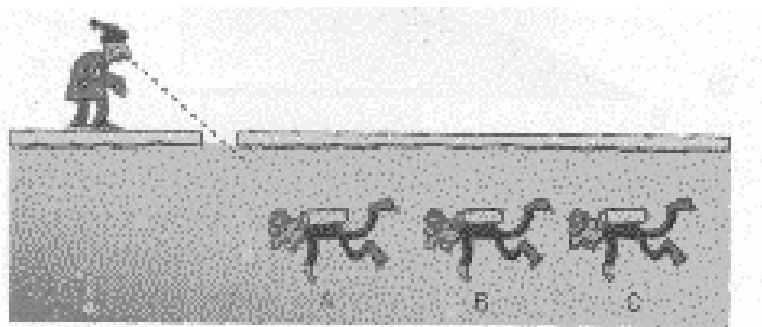
(UEL) Para determinar o índice de refração de um líquido, faz-se com que um feixe de luz monocromática proveniente do ar forme um ângulo de 60° em relação à normal, no ponto de incidência. O ângulo de refração observado é de 30° . Sendo o índice de refração do ar igual a 1,0, então o índice de refração do líquido será:

- a) 0,5
- b) 1,0
- c) $\sqrt{3}$ (correta)
- d) $\frac{2}{\sqrt{3}}$
- e) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

Esse exercício foi escolhido por ser bastante tradicional e simples, e por permitir que os alunos façam um desenho representando a refração (como demonstrada no **Experimento 25**) e apliquem a lei de Snell, fundamental no estudo desse fenômeno, para a resolução do exercício. Acreditamos que questões tradicionais como essa, as quais demandam o entendimento apenas dos conceitos básicos de um tópico de estudo, são inevitáveis no ensino da física, funcionando como alicerces para a resolução de problemas mais complexos.

Questão 192 (BONJORNO et al., 2004, p. 373)

(UNIPAC) Três mergulhadores, A, B e C, estão em um lago de superfície congelada (não transparente) contendo um pequeno buraco, como mostra a figura. Uma pessoa com o olho na posição indicada provavelmente verá:

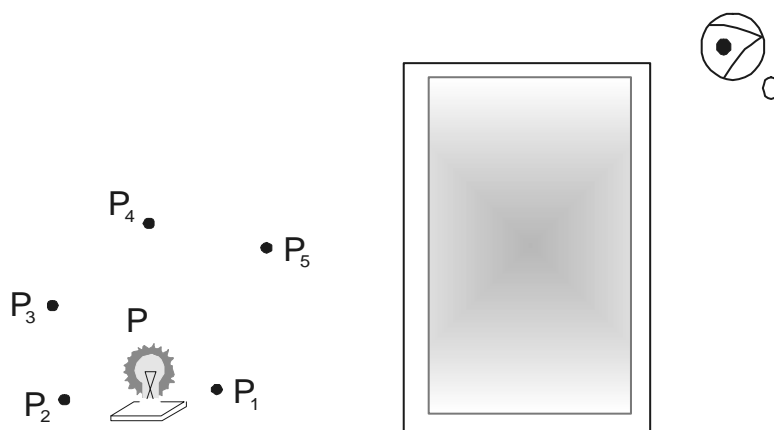


- a) apenas o mergulhador A; (correta, de acordo com o livro-texto)
- b) apenas o mergulhador B;
- c) apenas o mergulhador C;
- d) apenas os mergulhadores A e C;
- e) apenas os mergulhadores B e C.

Quando escolhemos esse exercício, acreditávamos que sua resolução seria bastante simples. Realmente, a grande maioria dos alunos afirmou ter acertado a questão, marcando a letra A sem grande hesitação, até mesmo porque a linha de visão do observador coincide com a posição do mergulhador A. Entretanto, na nossa opinião, a figura original da questão (reproduzida acima) não colaborou para o aprendizado da refração, pois a linha de visão do observador deve coincidir apenas com a posição da imagem do mergulhador, a qual se encontra um pouco acima da sua posição real, mostrada na figura. Admitimos que a escolha dessa questão foi um fato infeliz, pois devido às deficiências da figura, a questão não possui um gabarito definitivo. Na nossa opinião, o observador pode nem mesmo visualizar o mergulhador A.

Questão 196 (BONJORNO et al., 2004, p. 373)

(PUC) Um observador olha para um ponto luminoso P através do vidro de uma vidraça. A imagem que ele vê é o ponto:

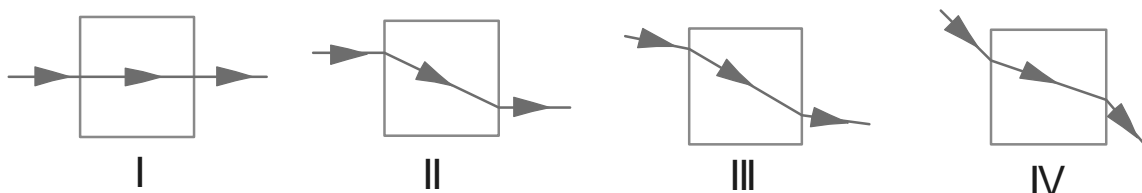


- a) P_1 (correta)
- b) P_2
- c) P_3
- d) P_4
- e) P_5

Por não termos apresentado a teoria da refração em uma lâmina de faces paralelas, escolhemos esse exercício para o reforço da aplicação da lei de Snell no entendimento do desvio sofrido por um raio ao atravessar um ou mais dióptros. Informalmente, os alunos relataram um não entendimento geral da questão, e as respostas à mesma se revelaram aleatórias.

Questão 197 (BONJORNO et al., 2004, p. 373)

(UFPB) As figuras abaixo representam secções retas de um cubo de vidro que tem uma de suas faces atingida por um raio de luz monocromática, proveniente do ar. As trajetórias do raio luminoso, também representadas, estão no plano dessas figuras.



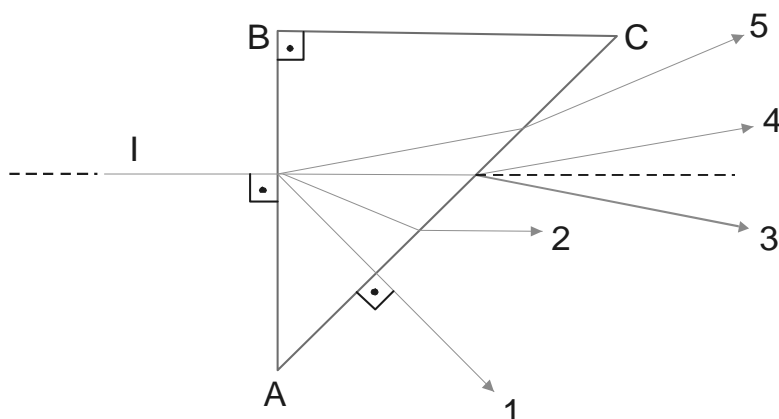
Sabendo-se que a índice de refração do vidro é maior do que o do ar, as trajetórias fisicamente possíveis são:

- a) I e III
- b) I e IV (correta)**
- c) II e III
- d) II e IV
- e) III e IV

Nossa intenção, com essa questão, é que o aluno utilizasse os conceitos apresentados a partir do **Experimento 28** para resolvê-la. Novamente, fomos frustrados nessas expectativas, pois muitos alunos relataram acreditar que a situação II mostrada na figura fosse possível, apesar de termos demonstrado experimentalmente que a trajetória do raio não era desviada no caso da incidência normal (situação I). As figuras III e IV se revelaram confusas para os estudantes, que não souberam diferenciar a aproximação e o afastamento da reta normal às superfícies refratoras.

Questão 202 (BONJORNO et al., 2004, p. 375)

(VUNESP) Um raio de luz monocromática, I, propagando-se no ar, incide perpendicularmente a face AB de um prisma de vidro, visto em corte na figura, e sai pela face AC. A figura mostra cinco trajetórias desenhadas por estudantes, tentando representar o percurso seguido por esse raio luminoso ao atravessar o prisma.



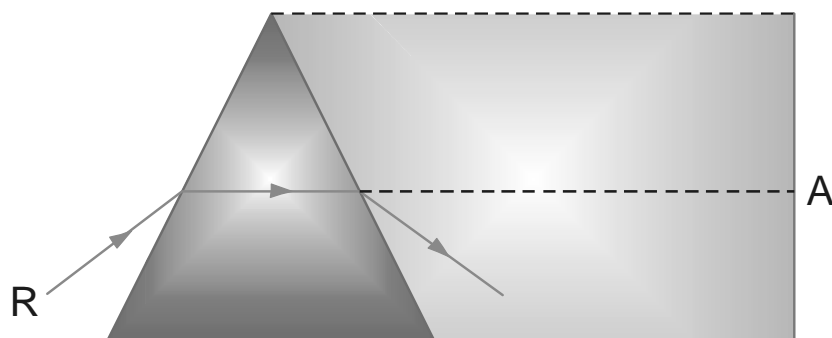
O percurso que melhor representa a trajetória do raio é:

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4 (correta)**
- e) 5

Novamente, nossas expectativas de que o **Experimento 28** pudesse facilitar aos alunos a compreensão da trajetória da luz através de um objeto refrator foram frustradas. Mesmo com a apresentação adicional do **Experimento 06**, no qual apresentamos uma figura explicativa da refração em um prisma, não percebemos grande diferença na taxa de acertos nessa questão entre os dois grupos. As respostas se revelaram fortemente aleatórias. Acreditamos que algum fator externo (a preparação para a gincana da escola, por exemplo) pode ter contribuído para a aleatoriedade nas respostas.

Questão 204 (BONJORNO et al., 2004, p. 375)

(EFOA) Um tanque é construído com uma das paredes laterais feita de um prisma equilátero de vidro (veja a figura abaixo).



O tanque está cheio com água e um raio de luz, R , incide no prisma, se refratando como mostrado na figura. Sem alterar o ângulo de incidência do raio R no prisma, desejamos fazer com que o raio refratado atinja o ponto A na parede do tanque oposta ao prisma. Podemos fazer isto se substituirmos a água por:

- a) um líquido com um índice de refração menor que o da água;
- b) um líquido com um índice de refração maior que o da água e menor que o do vidro;
- c) um líquido com um índice de refração maior que o do vidro;
- d) ar apenas, retirando toda a água;
- e) um líquido com um índice de refração igual ao do vidro. (correta)**

Nossa intenção ao escolhermos essa questão foi fazer eco a duas atividades: o **Experimento 26** e o **Experimento 27**, onde mostramos as condições necessárias para a invisibilidade (igualdade entre os índices de refração) e sua causa (ausência de desvio da luz na mudança de meio). Infelizmente, não percebemos uma grande taxa de acertos. Alguns alunos relataram que o desvio não ocorreria se a água fosse substituída por ar, quando na verdade essa substituição acentuaria o desvio observado. Acreditamos que nossas demonstrações da refração contribuíram para esse fato, pois apresentamos sempre um dióptro formado pelo ar e por outra substância, sem incluir uma situação como a presente no exercício.

Questão 216 (BONJORNO et al., 2004, p. 377)

(UFSCAR) Uma estudante observa um lustre de lâmpadas fluorescentes acesas no teto da sala de aula através de uma lente convergente delgada. Para isso, ela coloca a lente junto aos seus olhos, afastando-a lentamente. Ela nota que a imagem desse lustre, a partir de certa distância, começa a aparecer invertida e nítida. A partir daí, se ela continuar a afastar a lente, a imagem desse lustre, que se localizava:

a) entre a lente e o olho da estudante, mantém-se nessa região e sempre é invertida; (correta)

b) entre a lente e o olho da estudante, mantém-se nessa região, mas muda de orientação;

c) na superfície da lente, mantém-se na superfície e sempre é invertida;

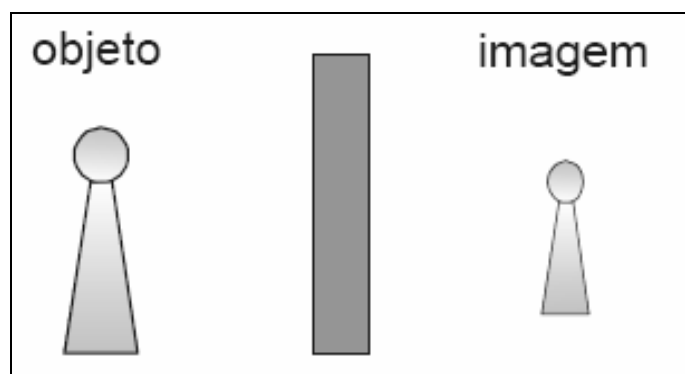
d) entre a lente e o lustre, mantém-se nessa região, mas muda de orientação;

e) entre a lente e o lustre, mantém-se nessa região e sempre é invertida.

Essa questão invocava os conceitos discutidos no **Experimento 39**, além da construção geométrica das imagens produzidas por uma lente. Não foi possível fazer uma análise informal do nível de acerto dessa questão devido à falta de tempo, pois a aula já se encerrara quando iniciamos sua correção. Fizemos apenas uma rápida discussão, a partir do desenho do esquema representativo correspondente no quadro.

Questão 218 (BONJORNO et al., 2004, p. 377)

(UFSCAR) A figura representa um objeto e a sua imagem conjugada por um elemento óptico que, na figura, está oculto pelo retângulo riscado.



As distâncias do objeto e da imagem ao elemento não estão em escala. Esse elemento óptico pode ser:

- a) um espelho plano;
- b) um espelho côncavo;
- c) um espelho convexo; (correta)**
- d) uma lente convergente;
- e) uma lente divergente.

Nossa expectativa nessa questão era permitir que os alunos percebessem que as imagens virtuais em espelhos são formadas em posições distintas daquelas conjugadas por lentes (tais imagens se formam no lado oposto ao objeto, no caso de espelhos, e do mesmo lado deste, no caso de lentes). Infelizmente, por falta de tempo, não pudemos corrigir com detalhes essa questão e nos limitamos a fornecer o gabarito para os estudantes.

Anexo 7

Produto educacional

(Proposta de ação profissional, em formato eletrônico)

