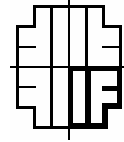




**Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física**  
**Instituto de Física**  
**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**



Valmir Heckler

**Uso de simuladores e imagens como ferramentas auxiliares no  
ensino/aprendizagem de ótica**

Porto Alegre

2004

**Valmir Heckler**

**Uso de simuladores e imagens como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de ótica<sup>1</sup>**

Dissertação realizada sob a orientação dos Drs. Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Kepler de Souza Oliveira Filho, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2004

---

<sup>1</sup> - Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- A minha esposa Sandra, pelo incentivo, pela presença fundamental nos momentos importantes da minha vida e pelo exemplo de vida que é para mim; as famílias Heckler e Fülber por compreenderem a necessidade da minha ausência.

- Aos professores Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Kepler de Souza Oliveira Filho, pela dedicação à orientação, valiosa e gratificante oportunidade de troca de saberes.

- Aos colegas do mestrado e aos professores do Instituto de Física da UFRGS pelos momentos de aprendizagem, amizade e oportunidade da socialização de angústias, vitórias, saberes e desafios travados conjuntamente em prol da melhoria na qualidade do ensino de física.

- À família SETREM por oportunizar a execução do meu projeto de mestrado; a direção, a equipe de coordenadores, aos colegas de trabalho pela viabilização de meus horários, substituições de minhas aulas, pela compreensão de minha ausência, pelo incentivo e apoio em momentos de dificuldades.

- Aos colegas de trabalho, Mauro Alberto Nüske pela parceria diária e suas valiosas contribuições; a Liliana Ferreira dos Santos pelos incentivos e conselhos; a Carlos Borges (Índio) pelas ajudas e ensinamentos na área de informática; a Eneida Scherer e aos demais que contribuíram.

- Aos alunos da 3ª série do Ensino Médio (2004) da SETREM, onde aplicamos o material, recebendo valiosas contribuições que estão registradas neste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>x</b>
<b>I INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>II USO DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO .....</b>	<b>13</b>
II.1 – USO DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA.....	13
II.2 – A POSTURA DO PROFESSOR E DA ESCOLA FRENTE AS NOVAS TECNOLOGIAS DE ENSINO .....	16
II.3 – O USO DA INFORMÁTICA COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO DE FÍSICA .....	20
II.4 – EXPLORAÇÃO DOS SIMULADORES DISPONIBILIZADOS PELAS NOVAS TECNOLOGIAS .....	26
II.5 – NOVAS TECNOLOGIAS NO ENSINO DE ÓTICA.....	29
<b>III EMBASAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>36</b>
III.1 – TEORIAS CONSTRUTIVISTAS COGNITIVISTAS.....	36
III.1.1 – Teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget.....	37
III.1.2 – Teoria da Mediação de Vygotsky .....	41
III.1.3 – Teoria da Aprendizagem Significante de Rogers .....	44
III.1.4 – Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel .....	46
III.1.5 – Teoria de Educação de Novak .....	49
III.2 – INFLUÊNCIA DAS TEORIAS CONSTRUTIVISTAS NO DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA PARA ÓTICA .....	50
<b>IV DESENVOLVIMENTO DO MATERIAL .....</b>	<b>53</b>
IV.1 – CONTEÚDOS ENVOLVIDOS.....	54
IV.2 – SIMULADORES JAVA APPLETS .....	59
IV.3 – CRIAÇÃO E USO DAS ANIMAÇÕES .....	63
IV.4 – OBTENÇÃO E USO DAS IMAGENS ESTÁTICAS .....	67
<b>V IMPLANTAÇÃO DO MATERIAL DESENVOLVIDO .....</b>	<b>69</b>
V.1 - DESCRIÇÃO DO AMBIENTE ESCOLAR ONDE FOI IMPLANTADO O MATERIAL .....	69
V.2 – METODOLOGIA UTILIZADA NA IMPLANTAÇÃO DO MATERIAL .....	71
V.3 – RECEPÇÃO DO MATERIAL PELOS ALUNOS.....	73
V.4 – AVALIAÇÃO SOBRE USO DO MATERIAL EM SALA DE AULA .....	76
<b>VI CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>91</b>

<b>APÊNDICE A – PRODUTO GERADO.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DO MATERIAL .....</b>	<b>202</b>
<b>APÊNDICE C – PROVAS APLICADAS .....</b>	<b>211</b>
<b>APÊNDICE D – COPYRIGHT E AUTORIZAÇÕES.....</b>	<b>219</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Livros didáticos de Física do Ensino Médio consultados, para análise do contexto de propostas de Ensino de ótica existentes .....	29
Tabela 2 – Relação de conteúdos de ótica e nível de exigência dos mesmos adotados no currículo básico das escolas de abrangência do programa PEIES da UFSM .....	31
Tabela 3 – Macroregiões e respectivo número de municípios que formam a Região de Abrangência do PEIES 2002 .....	32
Tabela 4 – Tabela resumo sobre os quatro estágios do desenvolvimento cognitivo de Piaget .....	37
Tabela 5 – Organização dos princípios de aprendizagem propostos por Rogers e suas relações com os alunos.....	45
Tabela 6 – Demonstração do grau de importância atribuída às formas de ensino/aprendizagem .....	77
Tabela 7 – Demonstração dos pontos fortes atribuídos a esta metodologia de ensino.....	81
Tabela 8 – Demonstração dos pontos fracos atribuídos a esta metodologia de ensino.....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferença entre o modelo tradicional e o modelo colaborativo/construtivista .....	18
Figura 2 – Exemplo de coleta e análise de dados, obtidos por alunos do Ensino Médio com auxílio do computador.....	22
Figura 3 – Figura da tela de entrada de um simulador Java Applet interativo.....	24
Figura 4 – Representação de um simulador não interativo .....	25
Figura 5 – Representação do processo de assimilação e acomodação no desenvolvimento cognitivo .....	39
Figura 6 – Representação do relacionamento da assimilação, acomodação e equilíbrio na visão de Piaget.....	40
Figura 7 – Demonstração do menu principal, conteúdos e sua ordem de localização.....	55
Figura 8 – Demonstração do acesso às informações e a forma como o usuário vê o conteúdo .....	56
Figura 9 – Tela inicial do simulador do Efeito Fotoelétrico disponibilizado no material .....	60
Figura 10 – Tela de orientação sobre uso do simulador do Efeito Fotoelétrico.....	61
Figura 11 – Demonstração da não ejeção de elétrons.....	61
Figura 12 – Demonstração da ejeção de elétrons.....	61
Figura 13 – Demonstração do aumento de intensidade.....	62
Figura 14 – Demonstração de aumento de ejeção.....	62
Figura 15 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmera escura, camada 1 .....	63
Figura 16 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmera escura, camada 2.....	64
Figura 17 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmera escura, camada 3.....	64
Figura 18 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmera escura, camada 4.....	65
Figura 19 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmera escura, camada 5.....	65
Figura 20 – Indicação do tempo de retardo da moldura.....	66

Figura 21 – Demonstração de organização e associação da animação no texto didático .....	66
Figura 22 – Demonstração de figura gerada no computador .....	67
Figura 23 – Demonstração de figura (foto) obtida com câmera digital .....	68
Figura 24 – Vista aérea da estrutura física do Centro de Ensino Médio - SETREM .....	70
Figura 25 – Ambiente de aula no Laboratório de Informática.....	72
Figura 26 – Alunos e professor no laboratório de física da escola .....	73
Figura 27 – Demonstração dados sobre a importância do CD-ROM na aprendizagem de ótica .....	77
Figura 28 – Demonstração da importância dos simuladores (Java Applet) no entendimento da ótica .....	79
Figura 29 – Demonstração da importância atribuída aos simuladores não interativos .....	80



## RESUMO

Neste trabalho desenvolvemos um texto hipermídico sobre ótica para o ensino médio. Nele abordamos tópicos de ótica geométrica e ótica física, com o uso intensivo de tecnologias da informação, abrangendo a exploração de simuladores (Java Applets), de imagens e animações, acompanhadas de textos teóricos explicativos. Para o material, geramos 77 animações e 63 imagens, e adaptamos 13 simuladores Java Applets, organizados em material interativo desenvolvido em linguagem html e disponibilizado em CD-ROM. O embasamento teórico do trabalho é dado pelas teorias construtivistas cognitivistas, aproveitando as idéias de Piaget, Vygostky, Rogers, Ausubel e Novak. O Material foi aplicado em uma turma de 3<sup>a</sup> série do ensino médio no Centro de Ensino Médio – SETREM, localizada na região Noroeste do RS. Com este material conseguimos desenvolver os conteúdos de uma forma mais atrativa, com maior envolvimento dos alunos e maior motivação por parte dos mesmos, fazendo com que se sentissem participantes ativos na aquisição de informações e construção do conhecimento. Ao aplicarmos o material, observamos que as novas tecnologias usadas são boas ferramentas auxiliares no processo ensino/aprendizagem de ótica no ensino médio, que devem ser aliadas aos demais recursos didáticos existentes, não devendo ser encaradas como únicas e muito menos como substitutivas do professor, pois a este cabe cada vez mais o papel de orientador, motivador e organizador de um ambiente propício para o ensino/aprendizagem eficiente.

## **ABSTRACT**

In this work we developed a hypertext about optics for high school teaching that allows the free exploration of the information presented through several media, structured with connections. We approached the topics of geometric optics and physical optics, with an intensive use of information technology, including the exploration of images and animations simulators (Java Applets), associated with explanatory theoretical texts. For the material, we generated 77 animations and 63 images, and adapted 13 Java Applet simulators, that were organized in an interactive material developed in HTML language. The material comprises a CD-ROM for high school physics' teaching. The theoretical basis of the work are the cognitive constructivist theories of Piaget, Vygostky, Rogers, Ausubel and Novak. The material was applied in a group of high school seniors in SETREM High School Center. SETREM school is located in the Rio Grande do Sul state, in Brazil. With this material, we developed the contents in a more attractive way, with students' higher involvement and motivation, making them feel active participants in the information acquisition and knowledge construction. When we applied the material, we observed that all the new technologies used are good auxiliary tools for the teaching/learning process of optics in high school. The new material should establish an alliance with other didactic resources, and not be treated as the only source, and much less as a teacher's substitute, as the teacher has an essential role as guider, motivator and organizer of a suitable atmosphere, leading to more and more efficient learning.

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

Ainda enfrentamos no ensino de Física em nosso país, várias dificuldades de aprendizagem e pouco interesse por essa ciência, por boa parte de nossos jovens alunos. Fazendo um paralelo entre a sociedade da informação e o ensino tradicional, encontramos a evolução rápida dos computadores juntamente com as telecomunicações, que afetam todos os níveis da sociedade, da vida profissional à vida privada. Do outro, visualizamos a escola e o professor, apresentando aulas em quadro negro e giz, vistos como os que possuem a informação, desestimulando a criatividade, o envolvimento dos aprendizes, por encontrarem-se no contexto de escola tradicional.

Ao ouvirmos falar da Física do Ensino Médio, a maioria lembra de uma disciplina difícil e complicada. Para parte dos alunos, a Física não passa de um conjunto de códigos e fórmulas matemáticas a serem memorizadas e de estudos de situação que, na maioria das vezes, estão totalmente fora de suas experiências cotidianas. Em geral, estes alunos não fazem uma conexão entre a física aprendida e o mundo ao seu redor.

“São conhecidas as dificuldades que muitos alunos apresentam na compreensão dos fenômenos físicos. Entre as razões do insucesso na aprendizagem de física são apontados métodos de ensino desajustados das teorias de aprendizagem mais recentes assim como falta de meios pedagógicos modernos. A necessidade de diversificarem métodos para combater os insucessos escolares, que é particularmente nítido nas ciências exatas, conduziu ao uso crescente e diversificado do computador no ensino de Física. O computador oferece atualmente várias possibilidades para ajudar a resolver os problemas de insucesso das ciências em geral e da física em particular” (Fiolhais & Trindade, 2003. pág. 259)

Neste trabalho, propomos uma discussão sobre a entrada das tecnologias no meio educativo, não apenas em relação à entrada de equipamentos, mas, sobretudo, em função das possíveis mudanças nos métodos de ensino, através do

uso auxiliar das tecnologias de informação, mostrando alguns caminhos de aproveitamento da façanha tecnológica, para desenvolvermos nas instituições educacionais de Ensino Médio.

Buscamos, através deste trabalho, interferir e contribuir no campo do atual ensino de ótica, através de uma prática não distante das teorias de aprendizagem mais recentes, pois entendemos que as atividades tradicionalmente propostas nas aulas de Física do Ensino Médio, como responder a questionários e resolver exercícios numéricos, não despertam no educando o interesse pelos inúmeros fenômenos físicos que ele encontra no seu dia-a-dia.

Propomos uma alternativa para o ensino da ótica no Ensino Médio, principalmente no que tange à inclusão de novas tecnologias de ensino na Física, com a exploração de simuladores (Java Applets) e de imagens em animações geradas ou obtidas através de câmera digital de vídeo e hipertextos teóricos explicativos, formando material interativo em CD-ROM, buscando assim facilitar a aprendizagem significativa por parte de nossos estudantes.

No capítulo II, apresentamos os principais referenciais teóricos existentes sobre as potencialidades de uso das novas tecnologias (principalmente da informática) na Educação Básica. Enfatizamos na discussão a necessidade de mudança da postura e da organização da escola, frente a um modelo tradicional de ensino e um novo modelo construtivista colaborativo. Levantamos as diferentes potencialidades e possíveis limitações que essas novas tecnologias podem trazer, para o contexto da educação em geral, em particular para o componente curricular de Física e, dentro desta, especificamente, para o estudo de ótica.

No capítulo III, descrevemos, de forma resumida, as teorias construtivistas cognitivistas que norteiam o desenvolvimento do trabalho e, no final do capítulo, mostramos a interligação de como possa ocorrer o processo ensino/aprendizagem no aluno a partir do uso do material desenvolvido.

Relatamos o desenvolvimento do material, ou seja, a forma de organização dos simuladores Java Applets, a construção dos simuladores não interativos, a

obtenção das figuras e imagens, a organização dos textos teóricos e explicativos, e a disponibilização do material no CD-ROM, no capítulo IV.

Mostramos, no capítulo V, uma análise da implantação do material em uma turma de Ensino Médio, de sua aceitação pelos alunos, da indicação dos pontos positivos e negativos encontrados no mesmo e das potencialidades, encontrados a partir de uma avaliação qualitativa feita do material.

Finalizamos o trabalho no capítulo VI, com as considerações finais, que abrangem algumas contribuições quanto à metodologia de uso do material e sugestões de implementações futuras necessárias para a melhoria do material, apresentando a devida conclusão sobre o **“Uso de simuladores e imagens como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de ótica”**.

## **CAPÍTULO II**

### **USO DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO**

Como estamos propondo a entrada de novas tecnologias no ensino de física em escolas de Ensino Médio, devemos analisar a forma de inclusão das mesmas na Educação Básica, buscando referências acerca do assunto, devendo perpassar por mudanças da postura do professor e da organização da escola.

Abordamos, neste capítulo, o uso de novas tecnologias na educação, em uma perspectiva de obtenção de uma ferramenta auxiliar na escola, portanto, não única, que possa auxiliar outras ferramentas existentes, criando uma expectativa quanto à exploração de simuladores e imagens em um contexto de facilitar o processo ensino/aprendizagem de ótica.

#### **II.1 – USO DAS NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

Ao refletirmos sobre a atual situação da Educação Básica no Brasil, é de fundamental importância analisarmos as vantagens, para o processo educativo, da inclusão de novas tecnologias de ensino, incluindo a discussão sobre a possibilidade de implantação, nas salas de aula, das Tecnologias da Informática.

Na visão de Moran (2000), realmente as tecnologias nos permitem ampliar o conceito de aula, de espaço e tempo, de comunicação audiovisual, ajudando a estabelecer pontes novas entre o presencial e o virtual. Chamamos a atenção para as questões de ensinar e aprender, que não dependem unicamente das tecnologias, lembrando que elas são importantes, mas não resolvem completamente os problemas da educação.

Levamos em consideração que todos nós, juntamente com os alunos, avançamos diariamente para um processamento maior e mais rápido das informações de forma multimídica, pois confrontamo-nos com pedaços de textos, imagens, gráficos superpostos simultaneamente, em uma mesma tela, na televisão ou no microcomputador, as quais também estão conectadas com outras telas multimídia, e por isso devemos começar a pensar em formas alternativas de também explorar estes meios na área educacional.

“...Cada vez são mais difundidas as formas de informação multimídica ou hipertextual e menos lógica-seqüencial. As crianças e os jovens estão totalmente sintonizados com a multimídia e quando lidam com texto fazem-no mais facilmente com o texto conectado através de links, de palavras-chave, o hipertexto. Por isso o livro se torna uma opção menos atraente; está competindo com outras mais próximas da sensibilidade deles, das suas formas mais imediatas de compreensão”. (Moran, 2000. Pág. 21).

Notamos que neste processo de avanço, o computador conectado à Internet mostra-se cada vez mais poderoso em recursos disponibilizados para o usuário, permitindo fazer pesquisas, simular diferentes situações e fenômenos, testar conhecimentos, ligando-nos a novos conceitos, lugares e idéias. Podemos afirmar que ele é a grande mídia, e está em sua fase inicial de experimentação, quanto a sua eficiência no processo de ensino-aprendizagem.

Observamos inúmeras tentativas, durante as duas últimas décadas, de introduzir os microcomputadores nos estabelecimentos de ensino. No entanto, precisamos ter cuidado em observar primeiro que as escalas de tempo entre educação e tecnologia se encontram defasadas: enquanto os instrumentos tecnológicos necessitam, por definição, de uma renovação constante, parece-nos que o sistema educativo funciona em longo prazo, tanto é que existem poucos referenciais que apontam um uso coerente da informática, como uma verdadeira ferramenta auxiliar no processo ensino/aprendizagem.

Na visão de Civiletti & Araújo (1997), a introdução, no processo educacional, da tecnologia de informação e telecomunicação, especialmente microcomputadores, tem sido considerada como um meio para complementar as deficiências e falhas que possam ocorrer na aprendizagem.

O advento desta tecnologia pode favorecer a otimização do aprendizado em diversas áreas de interesse, quando disponibilizamos ao aluno informações atualizadas por meio de textos e imagens, e oportunizamos a ação interativa através do uso de simuladores. Com a tecnologia da informação, o aluno possui a possibilidade de ir além das tarefas propostas, em seu ritmo próprio e estilo de aprendizagem.

“Neste novo processo educativo, o aluno dispõe de recursos para avançar, pausar, retroceder e rever o conhecimento, permitindo fazer anotações e investigações pessoais, consultar materiais alternativos e complementares, bem como discutir com outros usuários ou com os próprios colegas suas produções.” (Behrens, 2000, pág. 103)

Acreditamos que o computador é uma ferramenta de auxílio ao desenvolvimento cognitivo do aluno, ao criarmos um ambiente de aprendizagem, onde os alunos possam desenvolver habilidades, em um contexto onde se faça uso de imagens e simuladores. Através das aprendizagens colaborativas, ativas, facilitadas, os alunos podem construir a sua interpretação do mundo real, interiorizando os conhecimentos e organizando-os.

Valente (1993) argumenta a favor da entrada dos computadores na sala de aula, rompendo os paradigmas pedagógicos e educacionais das escolas.

“...o computador pode enriquecer ambientes de aprendizagem onde o aluno, interagindo com os objetos desse ambiente, tem chance de construir o seu conhecimento.” (Valente 1993, pág. 24-25)

Ao discutirmos como e para que o computador deve ser utilizado por professores e alunos na escola, percebemos que a informática deve estar a serviço da produção, desenvolvimento e socialização do conhecimento. Para Petitto (2003), o computador pode ser um grande parceiro na busca do conhecimento, levando em consideração que a informática educativa deve ser vista como uma forma de utilização dos computadores e seus recursos no processo de ensino-aprendizagem na escola.

Na concepção de Lévy (1998), ao refletirmos sobre as possibilidades de aplicação da informática na educação, devemos analisar e considerar a mutação



contemporânea da relação com o saber. A primeira questão apontada pelo autor refere-se à velocidade do surgimento e da renovação dos saberes e do saber fazer (*know-how*); a segunda, ligada à primeira, considera a equivalência entre trabalho e aprendizagem; a terceira questão nos mostra que o ciberespaço suporta tecnologias intelectuais que ampliam, exteriorizam e alteram muitas funções cognitivas humanas: a memória (bancos de dados, hipertextos), a imaginação (simulações), a percepção (sensores digitais, realidades virtuais) e os raciocínios (inteligência artificial).

Defendemos em nossas contribuições iniciais que a informática não deva ser apenas uma novidade a mais na escola, não devendo ser encarada como um remédio que resolverá os problemas educacionais, mas deverá servir como um novo caminho no processo educativo, de apropriação do conhecimento para transformá-lo, modificando a si mesmo e à sociedade. Deve ser uma ferramenta a mais para a criação de debates dos novos e velhos conhecimentos. Novos conhecimentos deverão ser agregados, produzidos, através da exploração das várias possibilidades e caminhos existentes, nestes novos processos educativos que existem ou ainda virão a existir.

## II.2 – A POSTURA DO PROFESSOR E DA ESCOLA FRENTE AS NOVAS TECNOLOGIAS DE ENSINO

Dentro do contexto histórico da educação, somos professores formados em um modelo cartesiano de ensino, desde a escola básica até o curso de graduação, onde foi privilegiada a transmissão rígida dos saberes. Portanto, muitos de nós adotamos, em nossa formação inicial, uma postura de receptores passivos do conhecimento, e que só utilizavam os poucos recursos tecnológicos então existentes, por exemplo, as calculadoras, para aplicação em exercícios mecânicos e de repetição.

“Esse modelo educativo foi denominado por Paulo Freire (1987) de educação bancária, uma vez que sua preocupação central era o depósito de dados descontextualizados na cabeça dos alunos e sua ênfase está, pois, na reprodução do conhecimento e negação da diversidade”. (Eyng, 2002, p.29).

Verificamos atualmente que este modelo tradicional, ainda é predominante em nossas escolas, até mesmo em boa parte dos cursos superiores. Neste modelo, a sala de aula é um ambiente físico onde diariamente são reunidos os alunos, em grupos relativamente grandes, tratados como se fossem iguais. Considera-se que a realidade do mundo é ainda algo distante dos mesmos. O professor então apresenta as informações e os fatos como algo a memorizar, e quando é feito o uso do computador, é para aplicação de exercícios mecânicos, digitação de textos ou ainda para montagens de apresentações.

Este modelo de educação torna-se ultrapassado frente à entrada de novas tecnologias no cotidiano das nossas vidas, das empresas, das indústrias e do desenvolvimento cada vez mais rápido da rede mundial de computadores e das potencialidades que as mesmas oferecem. Os computadores cada vez mais são usados na automação das fábricas, escritórios, na execução das nossas atividades pessoais. Litto (1996) cita que os mesmos trazem “novos padrões de complexidade, competitividade e mudanças constantes em todos os empreendimentos”. Isso significa, que a sociedade cada vez mais exige das pessoas, respostas rápidas e eficientes.

Frente a esta realidade, caminhamos para o contexto de um “novo design educacional” (Paas, 1999), isto é, para uma proposta construtivista. Na visão de Paas (1999) com o avanço das tecnologias de comunicação e informação passamos, para um novo modelo de sala de aula, o qual se torna um ambiente imersivo e multi-sensorial. Neste meio buscamos enfatizar que o conhecimento é construído dentro de uma prática e não adquirido passivamente, necessitando a conscientização e responsabilidade do próprio aluno para com a sua aprendizagem.

Com o auxílio da informática os alunos podem analisar e reestruturar textos, realizar a composição e análise de imagens, desenvolver raciocínios matemáticos, simular situações de fenômenos muito próximos dos reais, selecionar materiais, softwares e, pelo acesso a Internet, realizar debates em tempo real, projetos e pesquisas sobre os assuntos trabalhados nas diferentes disciplinas, mostrando que o aluno, professor e escola, estão frente a uma nova realidade, necessitando uma

reestruturação na forma de organização de escola e na forma de desenvolvimento das aulas.

O aluno, cada vez mais, terá a possibilidade de adquirir informações, pois o mundo da informática disponibiliza dados, imagens, resumos, simulações de fenômenos, notícias científicas ou em qualquer área, em tempo real, nos quais o professor então deve ser o orientador, o gestor que busca desafiar o estudante a dar significado a todas estas informações, necessitando fazer o papel de transformador de informações em conhecimento.

Esta nova visão de escola apresenta uma grande diferença entre o modelo tradicional e o novo modelo de organização, a diferença está representada nas figuras abaixo:

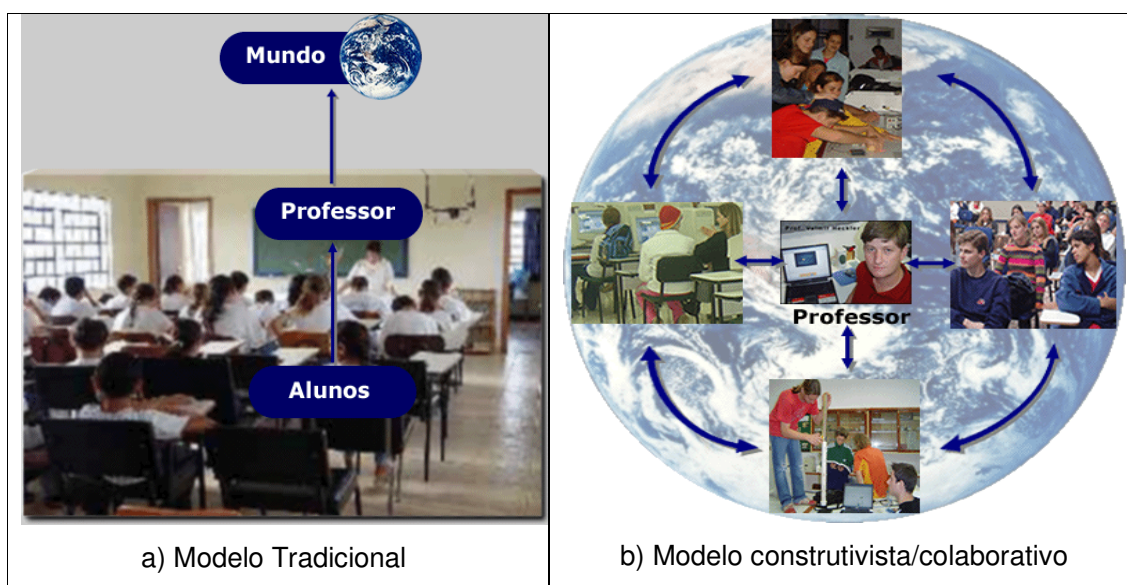


Figura 1 – Diferença entre o modelo tradicional e o modelo colaborativo/construtivista<sup>2</sup>

Na Figura 1, observa-se um exemplo de modelo tradicional de sala de aula, na qual se visualiza um professor expositor de idéias, trazendo uma realidade de mundo para os alunos, que o escutam e participam passivamente do contexto de aula, visualizando o mundo através de suas imaginações, de imagens e esquemas fixos, apresentados por aquele que detém o conhecimento, o professor. Em contrapartida, verifica-se também, um modelo colaborativo de escola construtivista, na qual existe interação entre vários grupos de trabalhos e de pesquisa, onde o

<sup>2</sup> - Figuras e idéias adaptadas da Dissertação de Mestrado de Lesli C. Paas (1999).

professor deixa de ser um mero transmissor de informação e assume o papel de mediador e orientador do processo educativo e os alunos estão conectados à realidade do mundo.

O professor frente a este novo modelo de escola, representado na Figura 1, pelo modelo construtivista, sob essa ótica deve perceber a necessidade de ir além dos métodos tradicionais de ensino, explorando espaços de leitura em hipertextos, salas de discussões, pesquisas em *sites de Internet* de diferentes grupos de pesquisa em assuntos trabalhados em sala de aula, usar simuladores e demais recursos disponibilizado pela informática, buscando sempre criar novos desafios aos estudantes. Neste contexto, o professor deverá desenvolver em suas pesquisas, a capacidade de selecionar material significativo para a sua disciplina e indicar diferentes caminhos para os educandos.

“Os recursos da informática não podem ser vistos apenas como instrumentalização do docente. Se o docente não souber como utilizá-la didaticamente, esses recursos não garantem aprendizagem. A escola deve ensinar o aluno a ler o mundo também por meio de outras linguagens e ele deve saber lidar com esses instrumentos para essa nova leitura.” (PETITTO, 2003, pág. 21)

As tecnologias precisam ser percebidas pela escola, principalmente pelos professores, como poderosas ferramentas, estimulantes e capazes de desenvolver a cognição dos alunos. O professor deve orientar o aluno a fazer uso de todos os recursos tecnológicos que a mídia oferece, focalizando sempre o desenvolvimento crítico perante os assuntos, possibilitando criar no mesmo, autonomia de aprendizado. Para tanto, a postura do professor, “que hoje deve ser um mediador do conhecimento, um tutor ou facilitador na busca de respostas às situações que se apresentam” (Petitto, 2003), é essencial.

Perante esta nova visão, a de orientador e mediador de aprendizagem, o professor terá a missão cada vez maior de ser um pesquisador a serviço da educação, estar sempre disposto a aprender e a re-aprender, buscando incentivar os seus alunos a pesquisar, mas a serem críticos, já que em grande parte do que está disponível pode estar incorreto.

“...um bom educador integra tecnologias, metodologias, atividades, integra texto escrito, comunicação oral, escrita, hipertextual, multimídica, aproxima as mídias, as atividades, possibilitando que transitem facilmente de um meio para outro....Varia a forma de dar aula, as técnicas usadas em sala de aula e fora dela...”.(Moran, 2000, pág. 31)

### II.3 – O USO DA INFORMÁTICA COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO DE FÍSICA

Ao discutirmos o uso do computador como ferramenta auxiliar no ensino de Física, o faremos com o objetivo de verificarmos as diferentes potencialidades e possíveis limitações que o mesmo oferece para este componente curricular, baseado em visões de diferentes pesquisadores. Iremos nos concentrar no estudo do uso do computador a partir da década de 1970, quando se dá o começo do uso dos computadores pessoais no Brasil e o surgimento de estudos para sua utilização na educação.

Em 1980, foi criada a linguagem de computador Logo pelo professor Seymour Papert<sup>3</sup>, possibilitando que crianças pudessem programar e desenhar figuras matemáticas. Valente (1995), citado por Fiolhais & Trindade (2003), nos mostra que esta “linguagem propiciou poderosas facilidades computacionais para as crianças e um modo completamente diferente de falar em educação”. Para a época, a questão do desenvolvimento de atividades educacionais no computador, entre outras facilidades a de poder gerarem gráficos, era algo muito diferenciado no campo educacional.

Com o avanço e melhoramento dos computadores, a proliferação da rede mundial de computadores (Internet) e do aumento do poder gráfico, nos anos 1990, a educação abriu as portas para a inserção das novas tecnologias. No ensino de Física, o computador está sendo usado atualmente “na aquisição e análise de dados, na modelização e simulação, na multimídia, na Realidade Virtual e Internet”. (Fiolhais & Trindade, 2003).

---

<sup>3</sup> Seymour Papert - Professor de Matemática no Massachusetts Institute of Technology, em Boston, nos EUA, e autor do livro *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*.

O uso do computador para a aquisição e análise de dados nos laboratórios de Física das escolas da Educação Básica<sup>4</sup> e universitária é possível, desde que se tenha disponível qualquer computador com interfaces comerciais, ou façamos uso da placa de som, a qual permite realizar a “aquisição automática de dados sem muitos custos e fazer medidas de diferentes grandezas” (Haag, 2001).

Encontramos no Instituto de Física da UFRGS, uma experiência significativa no que tange à proposta de experimentos que envolvam o computador como ferramenta auxiliar na aquisição automática de dados. Trata-se de um projeto que busca “desenvolver *kits* de aquisição automática de dados” (VEIT et. al. 2003), para serem usados nos laboratórios de Física de escolas de Ensino Médio, desenvolvendo atividades e experimentos que possam ser implementados a baixos custos e sem necessidade de muito conhecimento técnico em informática por parte dos professores. Observa-se que os sistemas de aquisição de dados necessitam de três elementos: “*sensor*, o qual faz a medida da grandeza física, *interface*, para conversão do sinal analógico em digital, e o *software*, para captação e armazenamento de dados” (VEIT et. al. 2003).

O uso de novas tecnologias para a aquisição de dados, a partir das idéias originais dos pesquisadores do IF da UFRGS, citados acima, são perfeitamente adaptáveis às aulas de Física em escolas do Ensino Médio; Heckler (2004) nos mostra experimentos usados por alunos do Centro de Ensino Médio<sup>5</sup>, quando foram construídos e adaptados projetos, como por exemplo, “Estudo da queda de corpos utilizando tubo PVC”, “Determinação do coeficiente de restituição” e “Estudo da música com o auxílio do computador”.

As novas tecnologias de ensino auxiliam nos experimentos, como uma forma de favorecer o estabelecimento de um elo entre objeto, conceito, e linguagem simbólica. Por isso, o uso do computador como ferramenta auxiliar no laboratório de Física é uma boa alternativa, pois, permite obter rapidamente uma quantidade de

---

<sup>4</sup> - Educação Básica: Ensino Fundamental e Ensino Médio.

<sup>5</sup> - Centro de Ensino Médio – Escola de Ensino Fundamental e Profissionalizante, mantida pela Sociedade Educacional Três de Maio, localizada na cidade de Três de Maio – RS, região noroeste do estado.

dados, sobrando assim maior tempo para análise e interpretação dos mesmos, contando com recursos gráficos que nos auxiliam na devida análise e interpretação.

Citamos abaixo um exemplo de obtenção e análise de dados por alunos de Ensino Médio, referentes à queda de um imã no interior de um tubo PVC, auxiliados por um software computacional. Representamos na figura 2 o tubo “PVC com 12 bobinas construído pelos alunos e o software “gram” com registros dos pulsos elétricos”, e ao lado podemos visualizar a organização de um dos “valores experimentais, seguido da análise e interpretação dos dados, com auxílio de planilha eletrônica” (Heckler, 2004, pág. 55), mostrando o potencial que pode ser explorado nos laboratórios de Física de uma escola de Ensino Médio.

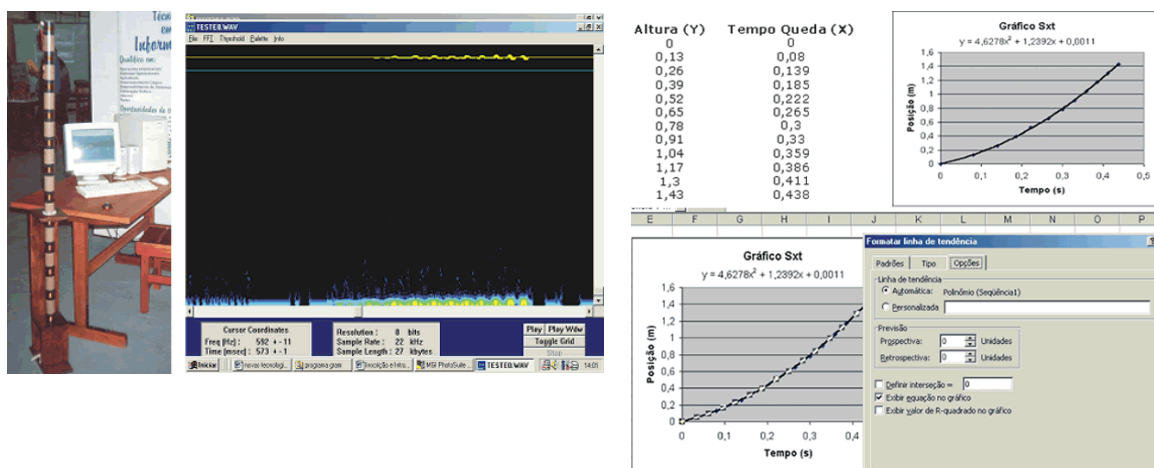


Figura 2 – Exemplo de coleta e análise de dados, obtidos por alunos do Ensino Médio com auxílio do computador  
 Fonte: HECKLER, V. – Revista SETREM, 2004 – pág. 55 - 56.

“Associando a análise gráfica, a interpretação dos dados com o uso do programa Excel e a revisão da teoria da queda de corpos, com e sem resistência do ar, interligando o assunto com a aula de Matemática no que se refere ao estudo dos gráficos e das equações de segundo grau, aos conhecimentos básicos de informática e aos fenômenos físicos, abordados nas aulas de Física.” (Heckler, 2004, pág. 55)

Como o componente curricular de Física no Ensino Médio é carente de tempo para trabalharmos com experiências, não podemos ficar investindo tempo com métodos tradicionais, pois para melhorarmos os resultados de alguns experimentos, precisamos fazer e repetir várias medidas. O método tradicional de aquisição de

dados nos limita muito em termos qualitativos e quantitativos, no que tange à obtenção e análise dos mesmos.

Com o avanço e melhoramento de computadores após os anos 1990, começou a ser disponibilizada uma quantidade significativa de simuladores Java Applet e de imagens animadas. Principalmente com o avanço da Internet e os recursos da informática voltados à linguagem de objetos, esses recursos possibilitaram a criação de animações interativas para auxiliar o ensino/aprendizagem das ciências. Referenciamos aqui especificamente as voltadas ao ensino de Física. Encontramos relatos sobre o uso de animações interativas (Veit e Teodoro, 2002; Silva, 2004), os quais nos mostram que estamos diante de um grande potencial auxiliar para as aulas de Física.

Reconhecemos que no ensino de Física atual, por maior que seja a habilidade e a capacidade de articulação e explanação do professor na sala de aula, as suas dificuldades e limitações de recursos ao expor um fenômeno físico dinâmico são muito grandes. Sala equipada com giz e quadro negro representa um desafio quase impossível no que tange à apresentação da dinâmica de evolução de um determinado fenômeno, em uma seqüência de instantes. Sob esta ótica, os estudantes são desafiados a imaginar tal evolução temporal, considerando-se que ambos possuam uma capacidade de abstração suficiente para visualizar e compreender os diferentes momentos do fenômeno em estudo.

Em contrapartida a este desafio, podemos encontrar na Rede Mundial de Computadores vários simuladores capazes de mostrar a evolução temporal de um dado evento, facilitando o entendimento através da percepção visual. Alguns desses simuladores agregam a questão interativa, onde o usuário poderá alterar variáveis, testar hipóteses, por exemplo, os de Fu-Kwun Hwang (2003), Fendt (2003) e Kiselev (2003).

Observamos na figura 3, um exemplo de simulador Java Applet interativo, tipo tutorial, que explica a reflexão e a refração das ondas através do princípio de Huygens, apresentando a possibilidade de interação. O usuário pode alterar dados, como por exemplo, os índices de refração dos meios, o ângulo de incidência da luz,



aparecendo uma explicação de cada passo na caixa de textos, e a animação ilustra os eventos, do raio de luz incidente, refletido, refratado e da frente de ondas em evolução temporal.

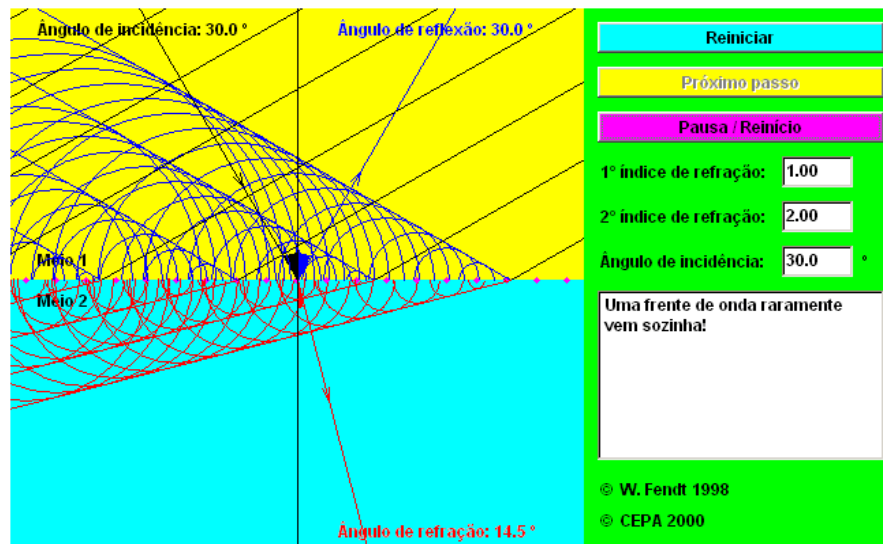


Figura 3 – Figura da tela de entrada de um simulador Java Applet interativo  
Fonte: FENDT, W. - [http://www.walter-fendt.de/ph11br/huygenspr\\_br.htm](http://www.walter-fendt.de/ph11br/huygenspr_br.htm)

O uso de animações em sala de aula pode tornar-se uma boa ferramenta para a exposição dos fenômenos físicos, que necessita ser explicado com determinada evolução temporal, facilitando o processo para a explicação do professor e do entendimento do aluno sobre o assunto, aproximando o aluno da idéia central da aula, inclusive podendo o mesmo fazer uso da explicação ou do experimento quando necessitar.

Os simuladores não interativos<sup>6</sup> servem para mostrar e ilustrar a evolução temporal de algum evento ou fenômeno, como por exemplo, o simulador da figura 4, na qual a animação apresenta uma onda eletromagnética propagando-se na direção x, com o campo elétrico (vetores vermelhos) paralelo ao eixo y, e o campo magnético (vetores azuis) paralelo ao eixo z.

<sup>6</sup> – Simuladores que não permitem alterações de parâmetros, sendo bastante utilizados para facilitar a demonstração da dinâmica de evolução de um determinado fenômeno, em uma seqüência de instantes.

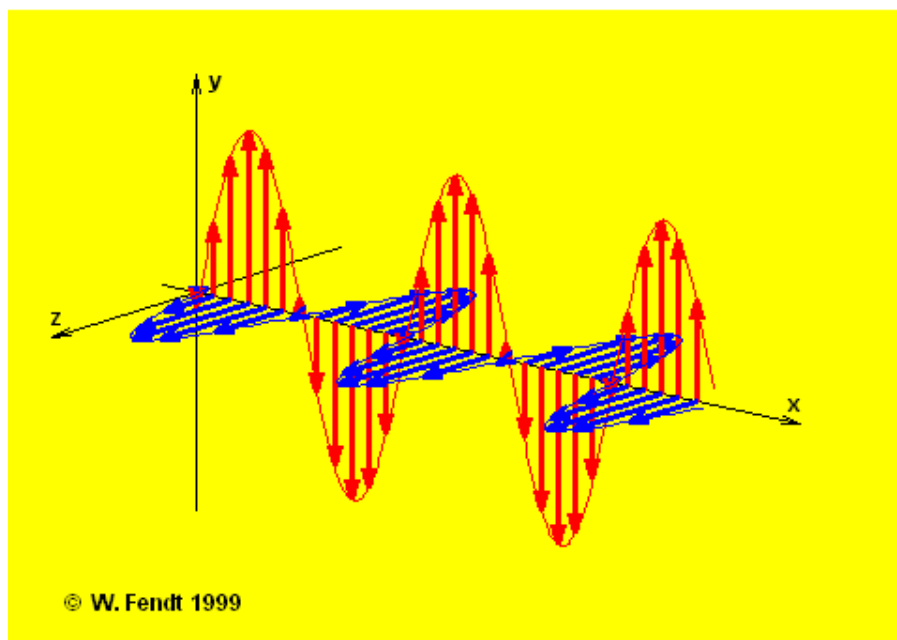


Figura 4 – Representação de um simulador não interativo  
Fonte: FENDT, W. - [http://www.walter-fendt.de/ph11br/huygenspr\\_br.htm](http://www.walter-fendt.de/ph11br/huygenspr_br.htm)

Uma ferramenta que pode ser explorada no ensino de Física é a Internet, pois tanto o professor como os alunos estão frente a um grande potencial de informações, que está disponível não só para o momento de aula, mas também para o extra-sala-de-aula, disponibilizando informação, dados, resumos, fórmulas, simulações e experiências. Encontramos, em “Sala de Física” (Silva, 2004), em “ótica para alunos do Ensino Médio” (Schiel, 2004), em “Astronomia e Astrofísica” (Oliveira Filho e Saraiva, 2004), bons exemplos de páginas atraentes, voltadas ao ensino de Física, disponibilizando informações através da tecnologia hipermídia<sup>7</sup>, permitindo ao usuário explorar múltiplos recursos como textos, imagens, animações, gráficos, simulações.

A construção cooperativa e colaborativa no componente curricular de Física pode ser favorecida pelo acesso à Internet, com a possibilidade de desenvolvermos pesquisa de qualquer assunto, ou discussão de um problema atual, em tempo real em diferentes pontos do planeta, inclusive com vários grupos. “Internet é um grande recurso de aprendizagem múltipla: aprende-se a ler, buscar informações, a

<sup>7</sup> Tecnologia hipermídia - permite ao aprendiz a exploração livre de páginas com informações representadas por diversas mídias e estruturadas através de ligações.

pesquisar, a comparar dados, a analisá-los, a criticá-los, a organizá-los” (Masetto, 2000, pág. 161), por isso é fundamental na escola, o papel do professor orientador, gerenciador e pesquisador, o qual deve auxiliar seu aluno para o uso correto da Internet.

## II.4 – EXPLORAÇÃO DOS SIMULADORES DISPONIBILIZADOS PELAS NOVAS TECNOLOGIAS

Ao discutirmos a exploração de simuladores, observamos que os mesmos não são desenvolvidos unicamente no campo da educação, segundo Mendes (2001), existe o desenvolvimento crescente dessas ferramentas em diferentes áreas da ciência e tecnologia.

“O desenvolvimento de técnicas de simulação espalhou-se pelas diversas áreas da ciência e tecnologia, chegando à aviação comercial, à agricultura e até mesmo aos cidadãos em fase de aprendizagem sobre trânsito. Hoje, pilotos de avião de médio e grande porte não são autorizados a pilotar aviões reais sem antes terem exercitado seu desempenho em inúmeras situações nos simuladores.”. (Mendes, 2001. pág. 14)

O fato da redução de custos e alguns casos dos perigos representados pelo experimento real levaram, nos últimos anos, ao investimento na elaboração de simuladores, os quais são usados para as aulas à distância, bem como em aulas presenciais, substituindo-se parcialmente os laboratórios, ou usando-se a simulação como complemento às aulas práticas, evitando investimentos em equipamentos de grande porte financeiro. Assim o computador passa a ser uma ferramenta auxiliar, permitindo ao aluno intervir no processo de ensino-aprendizagem, simulando determinados experimentos, testando hipóteses, estabelecendo relações, observando resultados ou simplesmente analisando a evolução temporal de um evento.

Com relação ao ensino prático em Física, são enormes as dificuldades em se conseguir materiais, equipamentos e tempo suficiente para montagem dos equipamentos nos laboratórios de Física do Ensino Médio e de um programa de aulas práticas, devido a fatores como o número excessivo de alunos por sala, o

número insuficiente de aulas de Física (somente 2 ou 3 aulas semanais na grade curricular), ou ainda pelos altos custos de aquisição e manutenção dos mesmos.

Os simuladores são recursos de aprendizagem que permitem ao aluno observar o comportamento de um determinado sistema ou fenômeno representado através de um modelo, ou seja, através de representações matemáticas, gráficas ou simbólicas. Servem então como uma forma de amenizar os problemas citados acima e auxiliar no processo de ensino e aprendizagem.

Basicamente, a simulação cria as condições de existência de um determinado fenômeno, possibilitando ao aluno entrar com os dados e variáveis e medir, através de várias repetições da atividade, os resultados. Com isto, é possível que o aluno tenha uma melhor compreensão daquilo que está estudando.

“A simulação oferece a possibilidade do aluno desenvolver hipóteses, testá-las, analisar resultados e refinar os conceitos. Esta modalidade de uso do computador na educação é muito útil para trabalho em grupo, principalmente os programas que envolvem decisões. Os diferentes grupos podem testar diferentes hipóteses, e assim, ter um contato mais "real" com os conceitos envolvidos no problema em estudo.” (Valente, 1993. pág. 11)

O objetivo principal da simulação, portanto, é proporcionar aos professores e estudantes uma oportunidade para estudar fenômenos físicos baseados nas técnicas e ferramentas existentes em um laboratório tradicional, quando este laboratório não está disponível para este tipo de aprendizagem, mas devemos levar em consideração que a simulação não substitui o laboratório de física.

O desenvolvimento de bons simuladores requer um bom nível de conhecimento técnico em informática, principalmente no que tange à linguagem de programação. É de suma importância ter domínio das variáveis matemáticas que estão por trás do fenômeno a ser simulado, e das dificuldades de implantação de animações e de recursos gráficos e sonoros. Por isso buscamos os que estão prontos, ou desafiamos os alunos a entrarem nas páginas que disponibilizam tais simuladores.

Um fator de alerta e cuidado em relação ao uso de tais ambientes informatizados é para o perigo da desatenção dos alunos, os quais facilmente dão maior atenção às páginas com maior número de imagens e simulações, deixando de lado a leitura das informações e explicações importantes.

“...diante de tantas possibilidades de busca, a própria navegação torna-se mais sedutora do que o trabalho de interpretação. Alunos tendem a dispersar-se diante de tantas conexões possíveis, de imagens e textos que se sucedem ininterruptamente”. (Moran, 2000, pág. 52).

Toda mudança gerada no setor educacional deve passar por vários processos de análise crítica e observações, portanto ao incluirmos as novas tecnologias de ensino, precisamos ficar alerta para o perigo evidente que as mesmas podem trazer no processo de ensino-aprendizagem, como por exemplo, o de o aluno interpretar o conteúdo apresentado nas simulações contidas nos hipertextos apenas como um jogo virtual e não como modelagem de uma situação física real.

“Os alunos impressionam-se primeiro com as páginas mais bonitas, que exibem mais imagens, animações, sons. As imagens animadas exercem um fascínio semelhante ao exercido pelas imagens do cinema, do vídeo e da televisão. Os lugares menos atraentes visualmente costumam ser deixado em segundo plano, o que acarreta às vezes, perda de informações de grande valor”. (Moran, 2000, pág. 52).

É importante ressaltar que todo e qualquer modelo, representado através de determinada simulação, não deve ser encarado como um fenômeno real, pois muitas vezes, para que a simulação seja possível, usam-se simplificações, as quais o aluno e o professor não têm consciência. As animações e simulações são mais atrativas do que as imagens estáticas dos livros didáticos, mas é preciso tomar cuidado, que este meio “pode servir, também para comunicar imagens distorcidas da realidade com eficiência igualmente maior do que as figuras estáticas” (Medeiros, 2002).

“...é primordial notar-se que um sistema real é freqüentemente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos que contêm, necessariamente, simplificações e aproximações da realidade....Existe uma diferença significativa entre o ato de experienciar-se um fenômeno através de um experimento real a de uma simulação computacional”. (Medeiros, 2002, pág. 80)

## II.5 – NOVAS TECNOLOGIAS NO ENSINO DE ÓTICA

Ao analisarmos a realidade do ensino de ótica nas escolas de Ensino Médio, encontramos um ensino baseado em livros textos, com os conteúdos estruturados de maneira que o educando tenha contato com a teoria em forma de tópicos (abordagem acadêmica). As atividades propostas, como responder a questionários e resolver exercícios, não despertam no educando o interesse suficiente pelos inúmeros fenômenos físicos de ótica existentes no seu dia-a-dia e que podem ser relacionados com os conteúdos de sala de aula.

Os conteúdos propostos pela maioria dos livros didáticos editados até 2001 (tabela 1), para serem trabalhados em ótica no Ensino Médio, abordam apenas a ótica geométrica deixando de lado a ótica física e a física moderna. Em contrapartida, observamos um considerável avanço no que tange a inclusão da ótica física e dos tópicos da física moderna, na maioria dos livros editados a partir do ano 2001 (tabela 1), indicando que o acesso e a discussão dos referidos tópicos nas escolas de ensino médio é muito recente.

Tabela 1 – Livros didáticos de Física do Ensino Médio consultados, para análise do contexto de propostas de ensino de ótica existentes

<b>Livro/Autor</b>	<b>Editora</b>	<b>Ano de Edição</b>
Física – Volume único. – Gualter & André	Saraiva	1997
Temas de Física 2 – Bonjorno e Clinton	FTD	1998
As Faces da Física – Carron e Guimarães	Moderna	2002
Curso de Física – Máximo e Alvarenga	Scipione	2000
Física - Paraná	Ática	1999
Fundamentos da Física – Ramalho, Ferraro e Soares.	Moderna	1999
Tópicos de Física 2 – Newton, Helou, Gualter	Saraiva	2001
Fundamentos da Física – Ramalho, Ferraro e Soares.	Moderna	2003
Física Ciência e Tecnologia – Nicolau, Penteado, Toledo e Torres	Moderna	2001
Física História & Cotidiano - Bonjorno e Clinton	FTD	2004
Física - Gaspar	Ática	2002

Desta forma, o conhecimento sobre a evolução histórica do conceito de luz fica altamente prejudicada, pois na maioria das escolas ainda não são trabalhados os fenômenos óticos, que envolvem a natureza ondulatória, as teorias sobre a natureza da luz, como por exemplo, as contribuições dos trabalhos de Newton, Huygens, Young, Fresnel, Maxwell, Einstein, Planck e muitos outros, que contribuíram para a construção do modelo denominado onda-partícula.

Ao analisarmos os PCNs, não encontramos listados conteúdos específicos a serem trabalhadas no Ensino Médio, e sim, uma generalização de conteúdos que podem ser desenvolvidos. A inclusão do estudo de ótica no Ensino Médio é uma oportunidade de incluirmos um estudo da natureza ondulatória e quântica da luz, portanto, podemos inserir no ensino de ótica, fenômenos que envolvam interferência, difração e polarização da luz (modelo ondulatório), e incluirmos conceitos quânticos, como "pacotes" de energia, fótons para explicar o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton, contribuindo para inserirmos a física contemporânea no Ensino Médio.

"A Ótica e o Eletromagnetismo, além de fornecerem elementos para uma leitura do mundo da informação e da comunicação, poderiam, numa conceituação ampla, envolvendo a codificação e o transporte da energia, ser o espaço adequado para a introdução e discussão de modelos microscópicos. A natureza ondulatória e quântica da luz e sua interação com os meios materiais, assim como os modelos de absorção e emissão de energia pelos átomos, são alguns exemplos que também abrem espaço para uma abordagem quântica da estrutura da matéria, em que possam ser modelados os semicondutores e outros dispositivos eletrônicos contemporâneos" (PCNs, 1997/1998, pág. 54).

Outra questão que levantamos é a forma como ensinamos Física no Ensino Médio, baseados na maioria das vezes unicamente em livros didáticos, apostilas, ou partindo apenas de um único texto, desconsiderando as outras possibilidades, pois o professor é pressionado, pela escola, pais e alunos, a vencer determinados conteúdos, por serem estes os cobrados no vestibular ou em programas de ingresso as universidades.

"...definitivamente, não é, ou não deveria ser, época de ensinar Física sob a abordagem de um único texto. Digo "não deveria", porque, agora me referindo apenas à realidade brasileira, muito do ensino de Física em nossas

escolas secundárias está, atualmente, outra vez referenciado por livros, porém de má qualidade — com muitas cores, figuras e fórmulas — e distorcido pelos programas de vestibular; ensina-se o que cai no vestibular e adota-se o livro com menos texto para ler” (Moreira, 1999, pág 95).

Verificamos a realidade citada acima na maioria das escolas de Ensino Médio da região Noroeste do Estado do RS, pois as mesmas estão filiadas ao programa PEIES<sup>8</sup>, da UFSM e, por isso, o conteúdo de ótica é trabalhado na 3<sup>a</sup> série, conforme conteúdos estabelecidos pelo programa, mostrados abaixo na tabela 2. Estas escolas possuem uma carga horária de 2 a 3 horas semanais de Física, ficando o ensino de ótica como o último conteúdo a ser trabalhado no Ensino Médio, depois dos conteúdos de eletrostática, eletrodinâmica e eletromagnetismo, conteúdos estabelecidos pelo programa para esta série.

Tabela 2 – Relação de conteúdos de ótica e nível de exigência dos mesmos adotados no currículo básico das escolas de abrangência do programa PEIES da UFSM

<b>Conteúdo</b>	<b>Nível de Exigência</b>
<b>4 - ÓTICA FÍSICA</b> 4.1. Natureza e propagação da luz 4.2. Espectro eletromagnético 4.3. Experiência de Young 4.4. Difração e polarização 4.5. Luz como partícula e onda	4.1. Identificar natureza e propagação da luz 4.2. Identificar espectro eletromagnético 4.3. Identificar interferência 4.4. Identificar difração e polarização 4.5. Identificar a luz como partícula e onda
<b>5 - ÓTICA GEOMÉTRICA</b> 5.1. Raio luminoso 5.2. Reflexão e suas leis 5.3. Espelhos. Equação dos focos conjugados 5.4. Refração. Índice de refração e Leis da refração 5.5. Reflexão total 5.6. Prismas 5.7. Lentes delgadas 5.8. O olho humano	5.1. Identificar raio luminoso 5.2. Identificar reflexão e suas leis 5.3. Resolver problemas simples 5.4. Resolver problemas simples 5.5. Reconhecer reflexão total 5.6. Explicar a dispersão da luz 5.7. Associar os diferentes tipos de imagens 5.8. Descrever os defeitos da visão

Fonte: COPERVES da UFSM, disponível no endereço: <http://www.ufsm.br/coperves>

Na tabela 2, também é listado o grau de cobrança de cada tópico, nos levando a ponderar que tais conteúdos e níveis de exigência foram discutidos,

<sup>8</sup> PEIES – Programa de Ingresso ao Ensino Superior é uma modalidade alternativa de vestibular, seriada, com o objetivo de integrar, orientar e classificar alunos-candidatos de escolas credenciadas localizadas na Região de Abrangência do PEIES (RAP) e selecionar e classificar os demais candidatos inscritos para preencher um percentual de 20% das vagas dos cursos de graduação da UFSM.



analisados e montados com a participação de professores de física, representantes de cada região de abrangência do referido programa, nos chamando atenção pelo não inclusão de física moderna no referido programa.

Segundo informações disponibilizadas pela Coperves/UFSM, em 2002 o programa atingia 70,12% do estado gaúcho, envolvendo 341 municípios, organizados em 13 macrorregiões, conforme a tabela abaixo (tabela 3). No total, 932 escolas participaram no PEIES 2002, das quais 518 são credenciadas e 414 cadastradas e localizadas em vários estados.

Tabela 3 – Macrorregiões e respectivo número de municípios que formam a Região de Abrangência do PEIES 2002

MACRORREGIÃO	Nº DE MUNICÍPIOS
ALTO JACUÍ	20
CAMPANHA	07
CENTRAL	35
FRONTEIRA NOROESTE	21
FRONTEIRA OESTE	13
MÉDIO ALTO URUGUAI	30
MISSÕES	24
NORDESTE	25
NOROESTE COLONIAL	32
NORTE	31
PRODUÇÃO	38
VALE DO RIO PARDO	25
VALE DO TAQUARI	37
OUTROS	3
TOTAL	341

Fonte: COPERVES da UFSM, disponível no endereço: <http://www.ufsm.br/coperves>

Analisando os dados expostos acima, verificamos as regiões de abrangência PEIES, mostrando a grande influência do programa em várias regiões do Estado do RS. Isso indica que existe uma determinada padronização dos conteúdos de Física e dos níveis que os mesmos devem ser trabalhados na escola, limitando as ações de professores frente às possibilidades de desenvolver os conteúdos de ótica voltados à introdução da física quântica, via a exploração da natureza quântica da luz nas salas de Ensino Médio.

Outro grave problema enfrentado no ensino de Física nestas escolas é que, em sua quase totalidade, não existem aulas em laboratórios de Física, por uma variedade de causas, como: não existência dos mesmos na escola; quantidade

reduzida de horas-aula disponibilizadas para o componente curricular de Física na grade curricular; falta de prática do professor no desenvolvimento de atividades experimentais; ou ainda por que as aulas são desenvolvidas em sua totalidade em livros textos ou apostilas, necessitando assim muito tempo para resolver exercícios.

Em contrapartida acreditamos que a atividade experimental no ensino de Física, e, particularmente, no estudo de ótica, é de fundamental importância para o aluno no desenvolvimento de suas habilidades e competências, como identificação, observação, classificação e organização dos diferentes fenômenos envolvidos no assunto.

Os PCNS +<sup>9</sup> do Ensino Médio, para a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, nos mostram a necessidade de proporcionarmos condições para que o aluno de física da escola de Ensino Médio desenvolva a competência de reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos e para o caso particular da ótica, são citados:

“Conhecer modelos físicos microscópicos para adquirir uma compreensão mais profunda dos fenômenos e utilizá-los na análise de situações-problema...modelos da constituição da matéria para explicar a absorção de luz e as cores dos objetos. Interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação. Por exemplo, utilizar modelo de olho humano para compreender os defeitos visuais e suas lentes corretoras...Elaborar modelos simplificados de determinadas situações, a partir dos quais seja possível levantar hipóteses e fazer previsões. Por exemplo...prever o tipo de lentes e a montagem necessária para projetar uma imagem numa tela” (PCNS+, 2003, pág. 63).

Frente ao contexto exposto acima e conhecedores de que a maioria das escolas de Ensino Médio, da região Noroeste do RS, possui laboratórios de Informática, e que estes não estão sendo devidamente explorados, servindo apenas para ensinar uma seqüência de cursos, como Word, Excell, Power-point, enfim, ferramentas da Microsoft com poucas conexões com as disciplinas ministradas na escola, propomos uma alternativa para o ensino da ótica no Ensino Médio,

---

<sup>9</sup> PCNS + - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNS) do Ensino Médio.

principalmente no que tange à inclusão de novas tecnologias de ensino na Física no Ensino Médio, com a exploração de simuladores (Java applet) existentes na Internet, de imagens em animações geradas ou obtidas através de câmera digital, textos explicativos e teóricos, formando material interativo, organizado em forma de hipertexto em CD ROM, as referidas explicações sobre o desenvolvimento e implantação do mesmo encontram-se no capítulo IV desse escrito.

Atualmente, a possibilidade de uso de simuladores e imagens está ainda muito condicionada à questão de estarmos conectados à rede mundial de computadores, sabemos que a maioria dos laboratórios de informática das escolas do Rio Grande do Sul, não possuem acesso a uma rede de Internet, ou quando possuem é umas redes discadas, dificultando o seu uso. Da mesma forma há os estudantes que possuem computador, mas não possuem acesso à Internet. Por esses motivos, desenvolvemos este material e disponibilizamos em CD Rom, para que todas as escolas tenham acesso, bem como os alunos.

Acreditamos que, para promover o uso de simulações, de atividade interativas através da exploração da informática no ensino de Física, nas escolas de Ensino Médio, é necessário facilitar o seu desenvolvimento e maximizar seu uso, principalmente para professores da área de ensino de Física do Ensino Médio, que possuem poucos recursos técnicos para a exploração de fenômenos físicos em laboratórios, ou enfrentam o problema de só terem 2 ou 3 aulas semanais de Física. Não basta apenas disponibilizarmos recursos de informática nas escolas, é preciso que se faça a associação de uma proposta metodológica de trabalho para exploração coerente dessas novas tecnologias.

“Muitas escolas atualmente estão se equipando”, adquirindo computadores, sem que, no entanto, os professores tenham uma orientação adequada, não apenas no manuseio da máquina, mas também em esclarecimentos que permitam dar uma visão das perspectivas educacionais e de pesquisa que essa nova ferramenta pode trazer” (Cavalcante, pág. 551, 2004.).

Apresentamos os assuntos da ótica auxiliados pela informática considerando que estas tecnologias servem como uma ferramenta auxiliar e não única no processo de ensino-aprendizagem, possibilitando uma multiplicidade de visões

acerca do assunto, instaurando uma nova forma de estudar e construir o assunto, e inclusive repensando alguns de nossos métodos de ensino. Com isso, as nossas relações, o nosso modo de aprendermos e comunicarmos e a postura do ser professor são transformados, possibilitando a construção coletiva do conhecimento.

## **CAPÍTULO III**

### **EMBASAMENTO TEÓRICO**

Em relação à construção coletiva do conhecimento, que citamos no capítulo anterior, descrevemos neste capítulo, de forma sucinta e objetiva, as teorias de aprendizagem utilizadas, as quais formam o embasamento teórico de toda nossa proposta, a qual possui em sua essência a teoria construtivista cognitivista.

#### **III.1 – TEORIAS CONSTRUTIVISTAS COGNITIVISTAS**

Como trabalhamos dentro da linha do construtivismo cognitivista, ou seja, frente ao contexto do papel do professor, consideramos que o mesmo deverá monitorar o crescimento cognitivo e o amadurecimento do aluno, contribuindo para a construção pessoal do mesmo. Nessa perspectiva, o ensino iniciar-se-á na figura do educador, evoluindo para o descobrimento e construção de conhecimentos pelos estudantes, ambos auxiliados pelo material proposto, buscando facilitar a aprendizagem significativa.

Não abrangeremos neste escrito todas as linhas construtivistas e suas prováveis implicações no ensino de Física, e sim daremos ênfase à linha construtivista cognitivista, pois foi através dela que buscamos entender como se procede a construção do conhecimento no aluno, para posterior elaboração do material alternativo para o Ensino de Ótica. Temos como referências principais, os seguintes materiais: - Textos de Apoio ao Professor de Física “Teorias Construtivistas” dos professores Marco Antônio Moreira e Fernanda Ostermann (1999), o livro do professor Marco Antonio Moreira “Teorias de Aprendizagem” (1999) e o livro do professor Marco Antonio Moreira “Aprendizagem significativa” (1999), explorando as idéias de Piaget, Vygostky, Carl Rogers, David Ausubel e

Novak. No final deste capítulo iremos mostrar algumas relações e as possíveis implicações das teorias de aprendizagem no ensino de Física.

### III.1.1 – Teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget

No contexto da teoria construtivista de aprendizagem a interação é requisito fundamental, pois é a partir da ação do indivíduo sobre o objeto de seu conhecimento que se dá o crescimento cognitivo. Observamos na visão Moreira e Ostermann (1999), que o “construtivismo é hoje o principal marco teórico para o ensino e aprendizagem e dentro dele o autor mais conhecido é Jean Piaget<sup>10</sup> (1896 – 1980)”.

O desenvolvimento cognitivo, em uma visão mais geral de Piaget, é uma relação de equilíbrio e desequilíbrio, em que “cada nível sucessivo de equilíbrio atinge uma forma melhor de conhecimento através da adição e reorganização dos elementos cognitivos” (Moreira e Ostermann, 1999, pág. 13). Portanto, na visão dos mesmos autores, toda e qualquer mudança que venha a ocorrer em nossa mente, abre caminhos para novas relações, novas visões e compreensões de certos problemas, mas possibilitando sempre novos questionamentos, problemas e novos desequilíbrios.

Durante seus trabalhos Piaget determinou quatro períodos do desenvolvimento cognitivo de cada indivíduo, sensório-motor, pré-operacional, operacional-concreto e operacional-formal. Apresentamos abaixo uma tabela resumo (Tabela 4), enfatizando os quatro períodos destacados por Piaget, mostrando a idade em que as mesmas ocorrem e o que acontece em cada uma delas com o indivíduo.

Tabela 4 – Tabela resumo sobre os quatro estágios do desenvolvimento cognitivo de Piaget

<b>Período</b>	<b>Idade aproximada</b>	<b>Relações envolvidas</b>
Sensório-Motor	0 – 2 anos de	A atividade intelectual da criança é de natureza sensorial e motora, nesta idade a criança não representa mentalmente os objetos, o meio não modela o

<sup>10</sup> Jean Piaget (1896-1980) - é considerado o pioneiro no enfoque construtivista à cognição humana.

	idade	comportamento, a criança é vista como ativa. A criança aprende pela experiência, examinando e experimentando com os objetos ao seu alcance, somando conhecimentos, e estas atividades serão o fundamento da atividade intelectual futura.
Pré-Operacional	2 - 7 anos de idade	A criança começa a desenvolver a capacidade simbólica, começando a distinguir imagens, palavras ou símbolos, daquilo que eles significam. Seu pensamento se organiza, ainda não no caminho cognitivo. Sua atenção está voltada ao caráter lúdico, ou seja, o pensamento simbólico.
Operacional - Concreto	7 – 12 anos de idade	O indivíduo começa a estabelecer as primeiras operações lógicas, sendo capaz de classificar objetos conforme suas semelhanças ou diferenças, ou seja, o pensamento da criança possui uma organização mental integrada, os sistemas de ação reúnem-se em todos integrados, portanto, ela é capaz de pensar no todo e nas partes simultaneamente. Nesta fase ainda não lança hipóteses.
Operacional-formal	12 anos em diante	Este período de desenvolvimento mental passa pela adolescência e prolonga-se na idade adulta. Ocorre nesta fase, o desenvolvimento das operações de raciocínio abstrato, sendo capaz de formular os resultados das operações concretas sob formas de proposições, sem deixar de operar mentalmente com eles, tornando-se capaz de raciocinar corretamente sobre proposições em que não acredita, ou que ainda não acredita, que ainda considera puras hipóteses. É capaz de manipular construtos mentais e reconhecer relações entre os mesmos.

Moreira (1999) cita que “ao longo do desenvolvimento mental de uma criança, a passagem de um período para outro não se dá de maneira abrupta”, portanto, os estágios têm determinado caráter integrativo, as relações construídas em um período dado será integrada nas relações estruturais do nível seguinte. O mesmo autor ainda nos diz que:

“Cada período tem as características predominantes anteriormente descritas; indivíduos na faixa etária correspondente apresentam, predominantemente, comportamentos consistentes com essas características. Tais indivíduos podem, no entanto, ocasionalmente, comportar-se de maneira correspondente a períodos anteriores. (Comportamentos típicos de períodos posteriores são raramente apresentados). Por outro lado, a ordem dos períodos é invariável, embora possam ser observadas diferenças na idade em que as crianças atingem cada período. O importante é a sucessão de períodos pelos quais o indivíduo necessariamente passa até chegar ao pensamento formal, não as idades cronológicas em que isso acontece” (Moreira, 1999, pág.99).

Na visão de Piaget, todo o desenvolvimento cognitivo do indivíduo se dá por **assimilação**<sup>11</sup> e **acomodação**<sup>12</sup>, conforme o esquema apresentado na figura 5.

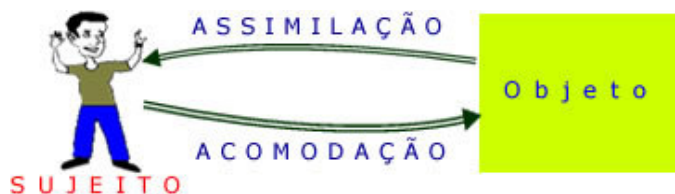


Figura 5 – Representação do processo de assimilação e acomodação no desenvolvimento cognitivo

Fonte: Adaptado do Material Guia Curricular de Matemática, vol 1, p. 30 citado por Zacharias (2004)

Observamos que o sujeito constrói esquemas de assimilação mentais para abordar a realidade. Moreira (1999) afirma que, para Piaget, “todo esquema de assimilação é construído e toda a abordagem à realidade supõe o esquema de assimilação”, portanto, o sujeito busca assimilar idéias frente às possibilidades de entendimento construídas por ele mesmo; nas situações em que o sujeito não consegue assimilar a situação, acontece um esforço contrário ao da assimilação, que Piaget chama de acomodação, existindo alterações em relações as hipóteses e conceitos estabelecidos anteriormente que irão se ajustar àquilo que não foi possível assimilar.

“Não há acomodação sem assimilação, pois acomodação é a reestruturação da assimilação. O equilíbrio entre assimilação e acomodação é a adaptação à situação. Experiências acomodadas dão origem, posteriormente, a novos esquemas de assimilação e um novo estado de equilíbrio é atingido”. (Moreira, 1999, pág. 100).

A figura 6 mostra a relação entre a assimilação, acomodação e equilíbrio na visão de Piaget.

<sup>11</sup> **Assimilação** - uso de uma estrutura mental já formada.

<sup>12</sup> **Acomodação** - processo que implica a modificação de estruturas já desenvolvidas para resolver uma nova situação.



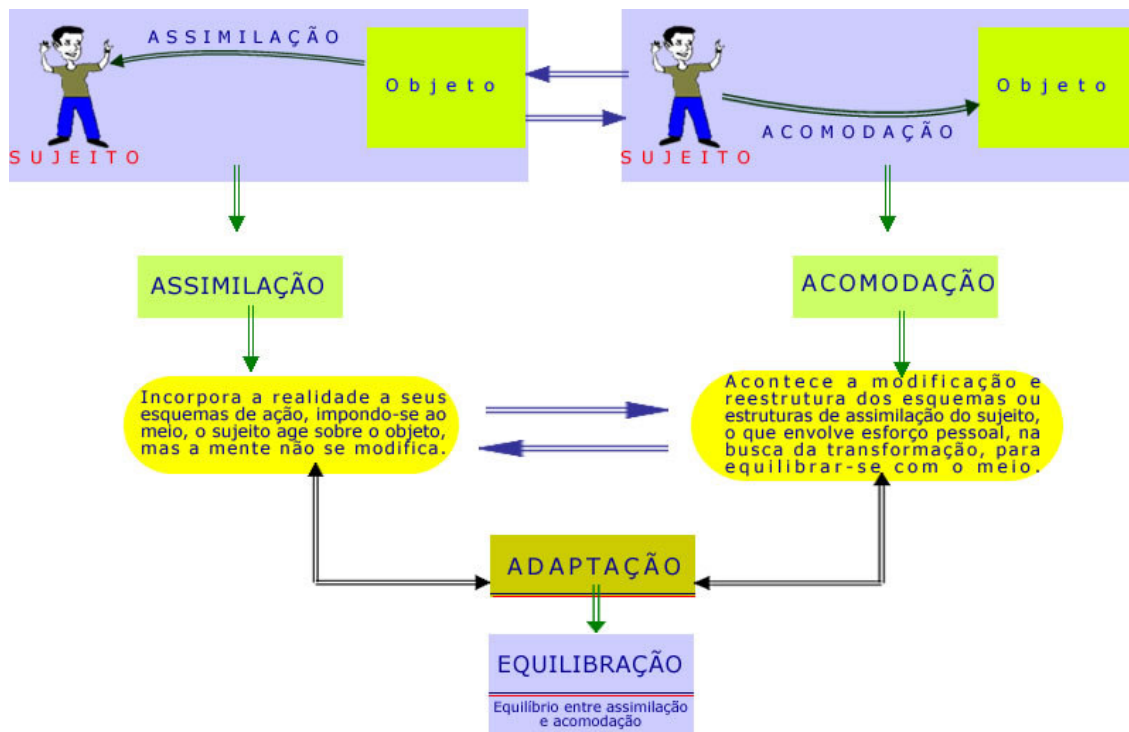


Figura 6 – Representação do relacionamento da assimilação, acomodação e equilíbrio na visão de Piaget

Fonte: Adaptado do Material Guia Curricular de Matemática, vol 1, p. 30 citado por Zacharias (2004)

A partir do pensamento piagetiano para o contexto da aprendizagem, notamos que a escola e o professor necessitam centrar no aluno os objetivos pedagógicos, a partir da realidade do aluno. O professor deve elaborar os conteúdos e os materiais de ensino, como instrumentos que servem ao desenvolvimento evolutivo natural do aluno, levando-o ao descobrimento, ao invés de receber passivamente a informação através do professor.

O professor necessita levar em consideração que a aprendizagem é um processo construído internamente, e que este é dependente do nível de desenvolvimento do sujeito, tratando-se de uma reorganização cognitiva que é favorecida pela interação social.

### III.1.2 – Teoria da Mediação de Vygotsky

Baseados no fato de que, para Vygotsky<sup>13</sup>, todo desenvolvimento cognitivo é resultado de um processo sócio-histórico, observamos que seu enfoque central é a aquisição de conhecimentos pela interação do sujeito com o meio, portanto, nesta visão, as interações sociais são as principais desencadeadoras do aprendizado. Encontramos a idéia central de Vygotsky para o desenvolvimento cognitivo, em Moreira (1999):

“Quer dizer, o desenvolvimento cognitivo não ocorre independentemente do contexto social, histórico e cultural. Além disso Vygotsky focaliza os mecanismos por meio dos quais se dá o desenvolvimento cognitivo, não produtos do tipo estágios de desenvolvimento como propõem Piaget e Bruner. Para ele, tais mecanismos são de origem e natureza sociais, e peculiares ao ser humano (Garton, 1992, p.87). Aliás, a asserção de que os processos mentais superiores do indivíduo têm origem em processos sociais é um dos pilares da teoria de Vygotsky” (Moreira, 1999. pág. 109).

Em suas concepções Vygotsky mostra que os processos mentais superiores, como, linguagem, memória e comportamento volitivo, são construídos ao longo da história social do homem, em suas relações com o mundo, ou seja, é através da socialização.

É importante ressaltar que as relações sociais irão provocar um desenvolvimento cognitivo, isso é possível porque o sujeito não tem acesso direto aos objetos, mas um acesso mediado, ou seja, quando o homem se defronta com um determinado objeto, ele tem a possibilidade de fragmentar, se apoiando no sistema de instrumentos e signos que lhe é disponibilizado, para estabelecer relações, as quais permitem que ela construa o seu conhecimento. Os instrumentos e signos são definidos:

“Um instrumento é algo que pode ser usado para fazer alguma coisa; um signo é algo que significa alguma outra coisa. Existem três tipos de signos: 1) Indicadores, são aqueles que têm uma relação de causa e efeito com aquilo que significam (e.g., fumaça indica fogo, porque é causado por fogo); 2) icônicos, são imagens ou desenhos daquilo

---

<sup>13</sup> Lev S. Vygotsky (1896-1934) - professor e pesquisador foi contemporâneo de Piaget, construiu sua Teoria tendo por base o desenvolvimento do indivíduo.

que significam; 3) simbólicos, são os que têm uma relação abstrata com o que significam” (Moreira, 1999, pág 111).

O homem é capaz de produzir símbolos, por exemplo, a fala, a escrita, as relações matemáticas, e o tem feito ao longo de sua existência, tornando os mesmos uma mediação entre sujeito (homem) e os objetos, formando assim socialmente as funções mentais superiores, mas temos que ter o cuidado em observar, que por origem e por natureza o ser humano não pode existir nem experimentar o desenvolvimento próprio de sua espécie como uma ilha isolada, ele necessariamente precisa do outro, para estabelecer o elo de interação.

O desenvolvimento humano está atrelado ao processo de internalização, seria uma reconstrução interna de signos de uma operação externa, ressaltando a importância da atividade do outro no processo, já que o sucesso deste depende da reação daquele. As transformações que ocorrem nesse processo segundo Vygotsky, citado por Moreira e Ostermann (1999), são:

- 1) uma operação que a princípio representa uma atividade externa, é reconstruída e passa a ocorrer internamente;
- 2) as funções do desenvolvimento da criança passam do interpessoal (nível social) para o intrapessoal (nível individual). Assim, todas as funções superiores (memória lógica, formação de conceitos, entre outras) originam-se das relações reais entre as pessoas;
- 3) o processo de internalização é resultado da história das relações reais entre as pessoas.

Segundo Vygotsky, citado por Moreira e Ostermann (1999):

“A internalização das atividades socialmente enraizadas e historicamente desenvolvidas constitui o aspecto característico da psicologia humana; é a base do salto qualitativo da psicologia animal para a psicologia humana. Até agora, conhece-se apenas o esboço desse processo”.

É importante notarmos o papel fundamental que o professor terá que desempenhar perante seus alunos, frente à teoria da interação social de Vygotsky. Supondo o exemplo de ensino de ótica, para uma turma de adolescentes do Ensino

Médio, o papel da interação deverá ser feito pelo professor, mediando o entendimento das diferentes linguagens particulares do referido conteúdo, pois sob a visão de Vygotsky a interação social é importante, o aluno sozinho não aprende a falar e também não aprende a se comunicar nas várias linguagens existentes.

Encontraremos no exemplo dos alunos acima citados, pelo menos dois níveis de desenvolvimento cognitivo, dentro do contexto de identificação feita por Vygotsky, conhecida por zona de desenvolvimento proximal: indicado pela diferença daquilo que o mesmo já tem formado ou adquirido sobre os conceitos de ótica, ou seja, o que permite a ele fazer por si mesmo (conhecido como real) e a outra, na qual tem a capacidade de aprender com outra pessoa, podendo ser o professor (potencial de desenvolvimento).

“Mais formalmente, a zona do desenvolvimento proximal é definida por Vygotsky como a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, tal como medido pela capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido através da solução de problemas sob orientação (de um adulto, no caso de uma criança) ou em colaboração de companheiros mais capazes” (Moreira Apud Vygotsky, 1999, pág 116).

O aproveitamento da teoria de Vygotsky na educação poderá acontecer, no contexto acima citado, ou seja, na “zona de desenvolvimento proximal”, isto é, na região em que devem ocorrer as interações de aprendizagem, para que aluno e professor possam se comunicar e um entender ao outro.

Portanto, o professor deve observar que a aprendizagem é fundamental ao desenvolvimento dos processos internos na interação de se alunos com seus colegas, professores e com outros grupos. Podendo orientar o processo de aprendizagem no sentido de adiantar o desenvolvimento potencial de seu aluno, tornando-o real, o ambiente criado pelo professor influenciará na internalização das atividades cognitivas do aluno e o aprendizado irá gerar o desenvolvimento.

### III.1.3 – Teoria da Aprendizagem Significante de Rogers

Em um contexto geral de enfoque ao ensino e à aprendizagem, a teoria de Carl Rogers<sup>14</sup> pode ser situada em uma abordagem humanista, mostrando que devemos ter um olhar humano sobre o aluno, ou seja, não podemos apenas nos preocupar com o cognitivo, é importante a auto-realização do mesmo, precisando se centrar no crescimento pessoal, e para que isso ocorra, Rogers considera fundamental desenvolvermos os três tipos gerais de aprendizagem em nosso aluno, ou seja, cognitiva, afetiva e psicomotora. A primeira enfatiza essencialmente a cognição, resultando em um armazenamento organizado de informações na mente, a segunda está atrelada aos sentimentos, ou seja, aos sinais internos do aluno (prazer e dor, alegria ou ansiedade, etc,) e a terceira é a que envolve esforço muscular em busca de respostas (treino e prática).

A existência de uma pré-disposição para a aprendizagem por parte do aluno é defendida por Rogers, mostrando que o aluno busca o crescimento pessoal à auto-realização ao máximo, desde que se tenha uma ambiente favorável para isso, ou seja, um meio agradável e não ameaçador.

“A propensão do homem para crescer em uma direção que engrandeça a sua existência é uma premissa básica da psicologia rogeriana. Ele acredita que o organismo humano tende, inerentemente, à manutenção de si mesmo e à procura do engrandecimento; ou seja, o organismo tende à auto-realização. O homem é intrinsecamente bom e orientado para o crescimento: sob condições favoráveis, não ameaçadoras, procurará desenvolver suas potencialidades ao máximo. É nesse sentido que a psicologia rogeriana é humanística; ela é também fenomenológica, no sentido de que, para compreender o comportamento de um indivíduo, é importante entender como ele percebe a realidade” (Moreira, 1999, pág. 141).

Para Rogers a educação deve ser o meio facilitador de aprendizagem, e ao invés de apresentar uma teoria de aprendizagem, em Moreira (1999) encontramos uma série de princípios de aprendizagem propostos por Rogers, os quais organizamos de forma resumida na tabela 5, voltadas para o contexto da educação:

---

<sup>14</sup> Carl Rogers - “nasceu em Chicago em 1902. Em 1924, graduou-se em História pela Universidade de Chicago e, em 1931, doutorou-se em Psicologia Educacional no Teachers’s College da Universidade de Columbia, em Nova Iorque”. (MOREIRA, 1999. pág. 139.)

Tabela 5 – Organização dos princípios de aprendizagem propostos por Rogers e suas relações com os alunos

1	Potencialidade natural dos alunos para aprender.	O aluno possui o desejo natural de aprender e esta é uma tendência na qual se pode confiar, pois o ser humano, segundo Rogers quer aprender, descobrir e aumentar o conhecimento e a experiência.
2	Relevância do ensino para o aluno ocorre quando existe identificação com seus objetivos.	A aprendizagem significativa irá ocorrer no aluno quando ele perceber que o conteúdo está envolvido na manutenção e no engrandecimento do seu próprio eu (tendência à auto-realização).
3	Mudanças na aprendizagem são ameaçadoras e tende a criar resistência por parte do aluno.	Como toda a mudança altera a organização do eu – na percepção de si do aluno, pode significar para ele que outro está certo e ele está errado, é difícil aceitar valores externos, pois ele já possui os deles, representando ameaça, o que pode criar resistência à aprendizagem.
4	Aprendizagens que ameaçam o eu, devem ser reduzidas ao mínimo para serem assimiladas e percebidas.	Todo o aluno que sente dificuldades não deve ser exposto ao grupo maior, pois em função de sua deficiência já se sente ameaçado. Deve ser criando um ambiente de apoio, de estímulo, ajuda e auto-avaliação.
5	Pequena ameaça ao eu, surge à experiência diferenciada e a aprendizagem prossegue.	Qualquer tipo de aprendizagem envolve uma crescente diferenciação dos componentes da experiência e assimilação dos significados dessas diferenciações. Frente ao um conteúdo ao se sentir seguro e não ameaçado essa diferenciação pode ser percebida e a aprendizagem ser levada a efeito.
6	Maior parte da aprendizagem significativa é adquirida através de atos.	Para promover uma aprendizagem mais eficaz, devemos trazer para a sala de aula, problemas práticos (de natureza social, ética e filosófica ou pessoal) e com problemas de pesquisa, como por exemplo, se o uso do telefone celular pode causar câncer, uso do raio laser para fazer cirurgia, uso de óculos para diminuir defeitos visuais.
7	Aprendizagem é facilitada com participação responsável do aluno no processo de aprendizagem.	Quando o aluno se envolve, projeta seus próprios caminhos, descobre os seus próprios recursos de aprendizagem, formulando problemas e vive a consequência de sua escolha, a aprendizagem significativa é maximizada.
8	A aprendizagem auto-iniciada envolvendo o aluno como um todo é mais duradouro.	Quando o aluno se deixa envolver completamente pelo professor a aprendizagem é mais eficaz, pois envolve tanto o cognitivo e o afetivo tornando-se mais abrangente e profunda.
9	Independência, a criatividade e a autoconfiança são facilitadas com a autocrítica e a auto-avaliação.	Para termos alunos criativos na sala de aula, precisam lhe fornecer certa liberdade, a autocrítica e a auto-avaliação são fundamentais para ajudar o aluno a ser independente, criativo e autoconfiante e neste sentido a avaliação feita por outros é secundária.
10	Aprendizagem socialmente mais útil para o aluno, está ligada ao processo de aprender.	O aluno atualmente está frente ao um mundo cuja característica central é a mudança, por isso, é necessário inserirmos em seu contexto o ato de aprender a aprender, mas para isso o aluno precisa estar aberto à experiência e ter uma postura de busca contínua de conhecimento.

**Fonte:** As informações contidas na tabela acima, em parte transcritas integralmente e outras com pequenas adaptações foram retiradas do livro do Professor Marco Antônio Moreira (Moreira, 1999. pág. 142-144).

O aproveitamento dos princípios de aprendizagem propostos por Rogers na educação, nos leva para uma escola centrada no aluno, pois percebemos um alto grau de confiança depositado no aluno e que o mesmo vai aprender, o papel principal do professor estará na promoção da relação interpessoal com o aprendiz,

facilitando o processo de aprendizagem do mesmo. Talvez o interessante dos princípios de Rogers é conseguir extrair e adaptar em nossas escolas a questão de sairmos da postura de professores, rígidos e centrados em conteúdos e avançarmos para a postura de educador com um novo o papel, o de orientador para promover o crescimento pessoal e facilitador da aprendizagem de nossos alunos.

### III.1.4 – Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

A teoria de David Ausubel<sup>15</sup> prioriza as aprendizagens cognitivas, que consiste na integração do conteúdo aprendido pelo indivíduo numa edificação mental ordenada, ou seja, a estrutura cognitiva. Essa estrutura cognitiva representa todo um conteúdo informacional armazenado por um indivíduo, organizado de uma certa forma em qualquer modalidade do conhecimento.

“Ausubel é um representante do cognitivismo e, como tal, propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem, segundo o ponto de vista cognitivo, embora reconheça a importância da experiência afetiva. Para ele, aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva. Como outros teóricos do cognitivismo, ele se baseia na premissa de que existe uma estrutura na qual essa organização e integração se processam” (Moreira, 1999. pág. 152).

Supomos que determinado aluno tenha um certo conteúdo previamente detido, de qualquer área do conhecimento que será trabalhada, o mesmo representará uma forte influência no processo de aprendizagem. Na visão de Ausubel, esse conhecimento anterior do aluno será um ponto de ancoragem onde as novas informações irão encontrar um modo de se integrar a aquilo que o aluno já conhece do determinado assunto, a qual segundo Moreira (1999), “Ausubel define como conceito de *subsunção*, ou simplesmente *subsunção*<sup>16</sup>, existente na estrutura cognitiva do indivíduo”.

---

<sup>15</sup> David Ausubel - professor Emérito da Universidade de Columbia, em Nova Iorque. É médico-psiquiatra de formação, mas dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional, uns dos pesquisadores e defensores da teoria de aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999. pág. 151).

<sup>16</sup> A Palavra *subsunção* não existe em português; trata-se de uma tentativa de aporuguesar a palavra subsumer. Seria mais ou menos equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador (Moreira, 1999. pág. 153).

No caso da experiência cognitiva do aluno, precisamos considerar que ela não ocorre de forma unilateral, apesar dos conceitos prévios do aluno orientarem o modo de assimilação das novas informações. Verificamos que estas novas informações influenciam também nos conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, ou seja, do conhecimento já armazenado, provocando assim uma interação evolutiva entre velhos conceitos e novas informações, e para Ausubel esse processo de associação de informações inter-relacionadas é o de aprendizagem significativa.

No caminho inverso da aprendizagem significativa, Ausubel coloca a aprendizagem mecânica, que ocorre quando a nova informação dada ao aluno encontra, muito pouca ou nenhuma interação com conceitos na estrutura cognitiva do mesmo, nas quais poderia se relacionar, sendo então armazenada de maneira arbitrária. Isso acontece geralmente quando o aluno recebe conceitos novos, nunca antes visto por ele, um exemplo que podemos citar, o caso de um aluno que apenas conhece a física clássica, os conceitos na estrutura cognitiva são clássicos e começa a receber informações sobre física quântica, as quais serão mecanicamente assimiladas, pois não ocorrendo relações entre os conceitos velhos com as informações novas, criando novas estruturas cognitivas no aluno.

Na visão de Ausubel a aprendizagem mecânica é necessária e inevitável, quando precisarmos introduzir conceitos, informações totalmente novos para o aluno, após a ocorrência da assimilação, a aprendizagem passará a ser significativa. Mas, para que esse processo se torne mais rápido, Ausubel recomenda o uso dos organizadores prévios, os quais são âncoras criadas a fim de manipular a estrutura cognitiva do aluno, interligando conceitos aparentemente não relacionáveis devido as suas abstrações.

“Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si....A principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa, ou seja, organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como “pontes cognitivas” (Moreira, 1999. pág, 155).



Para aproveitarmos a teoria de Ausubel na sala de aula e objetivando uma aprendizagem significativa de nossos alunos, segundo ele é necessário que:

a) O material a ser assimilado seja potencialmente significativo, ou seja, não arbitrário em si. Mesmo materiais arbitrários então, podem ser tornados significativos através de organizadores prévios. Portanto, cabe ao professor fazer a organização do material, para que seja potencialmente significativo e quando necessário incluir materiais e informações anteriores que sirvam de organizadores prévios.

b) Ocorra um conteúdo mínimo na estrutura cognitiva do indivíduo, com *subsunções* em suficiência para suprir as necessidades relacionais. Nesse caso o professor deve identificar os organizadores prévios que faltam e disponibilizar os mesmos, para que o aluno consiga fazer todas as relações necessárias para o entendimento do conteúdo.

c) O aluno apresente uma disposição para o relacionamento e não para simplesmente memorizá-lo mecanicamente muitas vezes até simulando uma associação. Cabe ao professor, neste ponto, tomar o cuidado com o seu método de ensino, buscando novas alternativas no mesmo, pois salas de aula onde só acontece, exercícios e avaliação repetitivos e padronizados, tornam ambiente favorável à aprendizagem mecânica.

“A atenção de Ausubel está constantemente voltada para a aprendizagem, tal como ela ocorre na sala de aula, no dia-a-dia da maioria das escolas. Para ele, o fator isolado que mais influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe (cabe ao professor identificar isso e ensinar de acordo)” (Moreira, 1999, pág. 152).

Notamos, portanto que Ausubel busca em sua proposta a valorização da estrutura cognitiva do aluno, subordinando o método de ensino a capacidade do aluno de assimilar a informação. A aprendizagem significativa acontece quando o aluno consegue dar um significado àquilo que ele aprendeu, ou dar um sentido a velhas concepções que estavam guardadas em seu cognitivo.

### III.1.5 – Teoria de Educação de Novak

Joseph D. Novak,<sup>17</sup> buscou refinar a teoria de Ausubel, com qual trabalhou em conjunto durante vários anos até Ausubel se aposentar, propondo uma teoria mais ampla, considerando essencialmente que homem faz três coisas: pensa, sente e atua (faz). Neste sentido aplicando sua idéia, leva a aquilo que ele chama de uma teoria de educação, voltada no sentido de abranger o todo do aluno e não apenas o cognitivo, como sugerido na teoria de Ausubel.

“Uma teoria de educação, segundo ele, deve considerar cada um destes elementos e ajudar a explicar como se pode melhorar as maneiras por meio das quais os seres humanos pensam, sentem e atuam (fazem). Qualquer evento educativo é, de acordo com Novak, uma ação para trocar significados (pensar) e sentimentos entre o aprendiz e o professor” (Moreira, 1999, pág. 168)

Novak enriquece a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, e a transforma em uma teoria de aprendizagem significativa (teoria de educação), com perspectiva humanista, considerando que todo evento educativo é uma ação para trocar significados. Os cinco elementos que Novak apresenta como constituintes básicos de um número infinito de eventos educativos (aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação).

“A avaliação encaixa aí porque, muito do que acontece no processo ensino - aprendizagem – conhecimento – contexto, depende de avaliação ou, como propõe Novak, muito do que acontece na vida das pessoas depende da avaliação” (Moreira, 1999, pág. 168)

Significando que devemos, enquanto professores, sempre estarmos avaliando e reavaliando, mas não avaliar apenas o desenvolvimento cognitivo do aluno (aprendiz), e sim avaliar os conteúdos trabalhados (conhecimento), em relação a sua significância para os alunos, avaliarmos a realidade e o momento em que estamos (contexto), do efeito que está exercendo, fazermos uma auto-avaliação de nosso trabalho enquanto professores, principalmente o que tange a nossa prática e nosso

---

<sup>17</sup> Joseph D. Novak- professor da Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, é co-autor da segunda edição do livro básico sobre teoria de aprendizagem significativa de David P. Ausubel (MOREIRA, 1999, pág. 167).

desempenho, importante também mostrarmos a importância da auto-avaliação para o aluno, uma vez, que fora do contexto de escola estará sujeito a várias avaliações diárias.

### III.2 – INFLUÊNCIA DAS TEORIAS CONSTRUTIVISTAS NO DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA PARA ÓTICA

Baseados na teoria construtivista apresentada neste capítulo, e em relatos escritos em diferentes artigos, sobre possíveis implicações na aprendizagem dos alunos que fazem uso das novas ferramentas disponibilizadas pela informática (hipertextos, simuladores, animações, etc.), descrevemos possíveis contribuições de nossa proposta para aprendizagem de ótica por parte do aluno, ou seja, aquilo que está relacionado ao processo cognitivo dele, não falando do método de ensino, mas sim de como pode ocorrer à aprendizagem no educando.

Como o computador é utilizado cada vez mais cedo na vida das pessoas, buscamos explorar a intimidade que o nosso aluno possui com a máquina, para promover o desenvolvimento cognitivo nos mesmos. A criação, a implantação e a implementação desse ambiente computacional de aprendizagem desenvolvem novas condições para a construção de conhecimento sobre temas da ótica pelo aluno do Ensino Médio, baseadas em um modelo construtivista.

Elaboramos o material de hipermídia de ótica, centrado na aprendizagem do aluno, conforme pensamento piagetiano, devendo servir como um instrumento para o mesmo desenvolver o descobrimento de conceitos, fenômenos e as relações das diferentes grandezas de ótica, portanto, o aluno não mais receberá de forma passiva as informações do professor.

O sistema hipermídia desenvolvido oferece diferentes formas de organização das informações, a exploração das mesmas pode ser feita de acordo com o propósito de cada aluno, preferência e estilo de aprendizagem, onde o aluno possui uma determinada liberdade de construir o seu conhecimento, conforme o seu ritmo de trabalho.

No material inicialmente disponibilizamos instrumentos e signos (imagens, simulações), dão ao aluno a possibilidade de fragmentação de objetos (informação), facilitando o estabelecimento de relações, auxiliando na construção do conhecimento. Mas devemos alertar que as interações de aprendizagem defendidas por Vygotsky, ou seja, as relações sociais, são as responsáveis pelo desenvolvimento cognitivo dos alunos.

Para incentivar e facilitar a interação social dos alunos, propomos que durante o uso do material nas aulas, as atividades com os simuladores, os exercícios e as questões sejam realizadas preferencialmente em duplas, sob orientação do professor. Acreditamos que isto estimula a criação do elo social entre aluno-aluno e professor e aluno, promovendo assim o desenvolvimento cognitivo auxiliadas pelas relações sociais citadas por Vygotsky.

As simulações, as imagens e as figuras ilustrativas, disponibilizadas no material podem ser considerados, como os organizadores prévios de Ausubel, auxiliando no desenvolvimento de conceitos subsunçores, que buscam facilitar a aprendizagem significativa.

“Na medida em que se dá à revelação de significados, as animações interativas seriam de acordo com a aprendizagem significativa, um organizador prévio adequado. Assim, poderiam atuar sobre os subsunçores, tidos como sendo idéias, conceitos, entendimento, proposição, ou nas palavras de Ausubel (Moreira, 1983, p. 20-22), atuaria em uma estrutura específica ao qual uma nova informação pode se integrar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual que armazena experiências prévias do aprendiz e permitiria a aquisição de novas estruturas cognitivas para facilitar o aprendizado significativo.”(Silva, 2003)

Acreditamos que as simulações, as imagens, as figuras ilustrativas e os textos explicativos, complementam e preenchem as lacunas existentes entre aquilo que aluno já conhece e o que precisa saber para poder aprender significativamente os conteúdos de ótica propostos ao longo do material.

Ao implementarmos o material em sala de aula, não devemos esquecer do pensamento de Novak, devido à importância de avaliarmos e reavaliarmos o processo de ensino/aprendizagem frente ao uso dessa metodologia de ensino de

ótica, envolvendo-se o aprendiz, o professor, o conhecimento (material), o contexto e a avaliação.

O nosso olhar enquanto professor educador não esteve unicamente centrado na preocupação do desenvolvimento cognitivo do aluno, mas também buscamos transformar o momento de contato com o aprendiz, como uma oportunidade de desenvolvimento humano, e para isso trabalhamos o todo do aluno, como defendido por Carl Rogers.

A teoria de aprendizagem mostrada ao longo do texto desenvolvido até aqui fundamenta a nossa proposta, ou seja, o **uso de simuladores e imagens como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de ótica**, buscando interligar de como pode ocorrer a aprendizagem significativa no educando, a partir do uso do referido material desenvolvido.

## CAPÍTULO IV

### DESENVOLVIMENTO DO MATERIAL

Motivados pelas potencialidades disponibilizadas pela informática e auxiliados pelas teorias defendidas por Piaget, Vygostky, Ausubel, Novak e Roger, desenvolvemos o material interativo hipermídico na área de ótica, disponibilizado em CD-ROM, como uma ferramenta auxiliar para o ensino de ótica no Ensino Médio, com a inclusão de novas tecnologias de ensino, explorando simuladores (Java applet) e imagens em animação geradas ou obtidas através de filmadora digital, textos explicativos e teóricos.

Todo o material desenvolvido está disponibilizado em CD-ROM, o qual encontra-se anexo neste trabalho e impresso **apêndice A**. Executamos a organização do material hipermídico em linguagem html, auxiliados pela ferramenta *Macromedia Dreamweaver 4*, portanto, podendo ser disponibilizado na rede mundial de computadores (Internet) para download.

O desenvolvimento do material englobou algumas etapas importantes:

- seleção dos tópicos de ótica significativos e importantes para os alunos do Ensino Médio;
- pesquisa sobre os simuladores java applets disponíveis na Internet para download, e, posteriormente, disponibilização e adequação dos mesmos no material;
- criação, adequação de textos teóricos e explicativos em cada tópico abordado;
- criação dos simuladores para facilitar a compreensão dos assuntos;

- produção e obtenção de imagens relacionadas a cada tópico;
- desenvolvimento de atividades, questões e exercícios para cada tópico;
- organização do material criado em um sistema hipermídia na linguagem html.

#### IV.1 – CONTEÚDOS ENVOLVIDOS

Buscamos durante este trabalho executar uma ponte entre a Física clássica ensinada no Ensino Médio e a Física moderna, a qual começa a ganhar mais espaço nas escolas de educação básica, entrando de forma lenta no currículo do Ensino Médio.

Propomos inicialmente o ensino dos efeitos fotoelétrico e efeito Compton, entrando em alguns conceitos da física moderna, para explicá-los em contexto e nível de conceitos para uma aula de Ensino Médio. Objetivando situar o aluno historicamente, através da disponibilização de conteúdos que envolvam a teoria corpuscular na proposta de Planck e Einstein sobre os fótons ou pacotes de luz, passando pelo contexto da óptica geométrica, posteriormente pela teoria ondulatória, que foi comprovada experimentalmente por Young, buscando a compreensão sobre a natureza da luz, ou seja, entendê-la como onda-partícula.

O acesso às informações dos diferentes conteúdos poderá ser feito clicando com o mouse sobre o conteúdo desejado, disponibilizado no menu principal conforme mostramos na figura 7, o que também nos revela os conteúdos e ordem de organização dos mesmos.

**Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física**  
**Instituto de Física**  
**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

Desenvolvido por Valmir Heckler sob orientação dos professores Maria de Fátima Oliveira Saravia e Kepler de Souza Oliveira Filho

**Ótica**

- Natureza da Luz
- Fontes de Luz
- Princípios da Ótica Geométrica
- Reflexão
- Espelhos Planos
- Espelhos Curvos
- Refração da Luz
- Lentes Esféricas
- Interferência
- Difração
- Polarização
- Referências

[Davidson physics](#)

### ÓTICA NO ENSINO MÉDIO

O conhecimento básico da ótica permite explicar inúmeros fenômenos que nos rodeiam, e a responder questões que se apresentam no nosso cotidiano, como: O que é a luz? De que forma visualizamos um lago azul ou uma floresta verde? Como se forma o arco-íris? Como ocorre a formação das imagens dos objetos no olho? Como funcionam os telescópios, microscópios, câmeras fotográficas, binóculos, lupas, óculos? Também nos permite entender o papel importante que a ótica desempenha nas inovações tecnológicas como o laser, a fibra ótica, os leitores de códigos de barra e a obtenção de imagens médicas.

Este material foi desenvolvido com o objetivo de explorar as novas tecnologias de ensino no estudo de Ótica no Ensino Médio, no que tange à inclusão e à exploração de simuladores (Java Applet) e de imagens em animação geradas ou obtidas através de filmadora digital de vídeo, e textos explicativos e teóricos, formando este material interativo em CD-ROM, buscando-se assim auxiliar no processo pedagógico de construção do conhecimento acerca do assunto.

O CD-ROM poderá ser copiado integralmente para fins educacionais, sendo necessário a citação da fonte. Não é permitido fazer alterações no material sem a devida autorização do autor. Aceitam-se sugestões e contribuições no que tange a melhoria do material didático proposto. Contato pelo e-mail: [valmirheckler@setrem.com.br](mailto:valmirheckler@setrem.com.br)

**Este material foi desenvolvido sem fins comerciais, portanto, sob nenhuma hipótese poderá ser copiado para comercialização. Não é permitido copiar os simuladores Java Applets a partir desse material.**

Caso você não consiga visualizar as animações, instale os plug-ins aqui:

----- Apoio: PROPEQ-UFRGS/CAPES -----

Ao escrever este material nos apoiamos em diversos autores, em especial em [Gaspar v.2 e v.3](#); [Sears e Zemansky](#); [Torres](#); [Hewitt](#); [Ramalho](#). Para uma visão mais detalhada de alguns dos temas aqui apresentados sugere-se uma consulta aos textos originais destes autores bem como aos demais listados nas [referências](#).

Figura 7 – Demonstração do menu principal, conteúdos e sua ordem de localização

Na figura 7 mostramos que os tópicos disponibilizados no material referem-se aos conteúdos: Natureza da Luz, fontes de luz, princípios da ótica geométrica, reflexão, espelhos planos, espelhos curvos, refração da luz, lentes esféricas, interferência, difração, polarização e citamos no último item do menu, os referenciais que foram consultados para a elaboração do material.

O usuário ao clicar sobre um tópico no menu principal, abre neste os diferentes conteúdos disponibilizados dentro de cada um deles, entre os quais ele poderá escolher qual ele quer estudar. Na figura 8 mostramos, como exemplo, um usuário interessado em estudar o tópico “Fontes de Luz”, ao clicar no menu “Fontes de Luz” aparecem listados os conteúdos: fontes de luz, cores de corpos luminosos e cores de corpos iluminados. Tendo este optado em estudar fontes de luz, ao clicar com o mouse em “**fonte de luz**” aparece na tela o conteúdo relacionado ao assunto.



Figura 8 – Demonstração do acesso às informações e a forma como o usuário vê o conteúdo

No item “**Natureza da luz**”, apresentamos um pequeno histórico sobre a evolução do conhecimento da natureza da luz, buscando despertar no aluno o questionamento sobre a dualidade da natureza da luz, desenvolvendo o estudo dos efeitos Fotoelétrico e Compton, oportunizando o contato inicial com a Física moderna e finalizamos este item principal mostrando que a luz é radiação eletromagnética e ocupa uma pequena faixa do espectro eletromagnético,.

Em “**Fontes da luz**”, mostramos aos alunos algumas fontes diferentes de luz como: a radiação térmica dos corpos, a lâmpada fluorescente e o laser, abrindo espaço para a discussão sobre como se formam as cores em corpos luminosos e iluminados.

São trabalhados no item “**Princípios da ótica geométrica**”, os conceitos de raios de luz e princípios fundamentais da ótica geométrica, como a propagação retilínea da luz, a reversibilidade de sua trajetória e a independência dos raios, bem como exemplos de aplicabilidades dos princípios, neste caso enfatizando o estudo dos eclipses do Sol e da Lua e as fases da Lua.

No tópico “**Reflexão**”, abordamos o estudo da reflexão da luz, mostrando para o estudante que ela pode ser resumida em duas leis.

Em “**Espelhos planos**”, apresentamos noções sobre o que são imagens e como elas são formadas em materiais polidos que produzem reflexão regular, estabelecendo as relações de simetria existentes entre objetos e imagens, desafiando o aprendiz para o entendimento do que é uma imagem virtual e direita, mostrando o que acontece com a imagem quando o espelho sofre rotação. Buscamos também despertar a curiosidade e o entendimento sobre a formação de várias imagens a partir de um único objeto, ao associarmos espelhos planos.

Em “**Espelhos curvos**” citamos as aplicações práticas e tecnológicas dos espelhos esféricos, como por exemplo, na construção de equipamentos ópticos. Diferenciamos espelho côncavo de convexo, mostrando os elementos importantes para o estudo dos espelhos esféricos, a ocorrência da formação de imagens em cada espelho e o estabelecimento das relações existentes às alturas, as posições dos objetos e a das imagens.

No tópico “**Refração da luz**”, abordamos conceitos que envolvem o índice de refração, a reflexão total, a miragem, dioptra plano, lâminas de faces paralelas e prismas, buscando aplicar o assunto na explicação de alguns fenômenos comuns no nosso dia-a-dia, como por exemplo, o desvio do raio de luz que enxergamos no cabo de uma colher que está dentro de um recipiente com água, as miragens nas rodovias em dias quentes, o funcionamento da fibra ótica utilizada nos meios de comunicação e a dispersão da luz branca em um prisma.

Em “**Lentes esféricas**”, contextualizamos as informações sobre o assunto, mostrando que as mesmas estão presentes em diferentes instrumentos óticos, sem esquecer que o cristalino do olho humano também funciona como uma lente esférica. Disponibilizamos informações neste item sobre os elementos das lentes esféricas, a construção gráfica de imagens e lentes divergentes e convergentes, a convergência de lentes, o funcionamento do globo ocular humano associando alguns defeitos de visão, a associação de lentes e o uso das lentes esféricas nos instrumentos óticos.

Apresentamos em “**Interferência**” o fenômeno que não pode ser explicado pelo modelo da ótica geométrica. Explicando que as belas imagens proporcionadas pelos fenômenos de interferência provocados pela reflexão dos raios de luz, de películas de óleo espalhadas no asfalto ou das bolhas de sabão, só podem ser explicados através do modelo ondulatório da luz. Para tanto, enfatizamos os conceitos relacionados a fontes e as ondas coerentes, distinguindo interferência construtiva de interferência destrutiva, exemplificando e demonstrando as relações do experimento de Young.

Em “**Difração**” apresentamos um estudo sobre o fenômeno da difração, mostrando que tal fenômeno também pode ocorrer com a luz, desde que a abertura ou fenda que a luz incidir, seja da ordem de  $10^{-6}$  m, próximo do valor de seu comprimento de onda. Exemplificamos o experimento de fenda simples, demonstrando as relações entre a intensidade da luz difratada em função da posição da fenda e, mostramos o fenômeno da difração, provocado por aberturas circulares. Explicamos também neste tópico, o que acontece quando a luz atravessa uma placa com inúmeras fendas próximas, ou seja, mostramos a formação de um padrão de interferência devido a rede de difração existente, exemplificando o fenômeno com o estudo da reflexão do espectro de cores, quando da incidência da luz branca (luz solar) em determinado CD.

No item “**Polarização**”, apresentamos o que é o fenômeno da polarização da luz, mostrando que o mesmo ocorre em ondas eletromagnéticas, exemplificando as direções de vibração de uma onda eletromagnética, o funcionamento e aplicabilidades dos materiais polarizadores.

Propiciamos acesso a diferentes informações envolvendo assuntos de ótica, neste caso expostas em material multimídia (CD-ROM), mas é preciso alertar ao aprendiz que só ter acesso a estas informações não é o suficiente, o mesmo precisa aprender a lidar com elas, ou seja, analisá-las, aprofundá-las, decodificá-las, buscando aproveitar o que lhe interessa, estabelecendo relações, enquadrando os tópicos dentro de um contexto de fenômenos que ocorrem no seu dia-a-dia estando então, realmente, construindo conhecimento. Caso não fizer isso, estará

acumulando informações desnecessárias, não sabendo o que fazer com as mesmas.

#### IV.2 – SIMULADORES JAVA APPLETS

O uso de simuladores Java Applets no material, já foi plenamente justificado nos capítulos anteriores desse escrito, mas ressaltamos que objetivamos estimular o aprendiz ao uso desses aplicativos desenvolvidos em linguagem Java, pois são estes que permitem a sua interação com os materiais didáticos, textuais e a simulação, servindo como um organizador prévio, facilitando a sua aprendizagem significativa.

Como não dominamos a linguagem de programação Java, não desenvolvemos os aplicativos, aproveitando na elaboração do material, os simuladores disponibilizados para download na Internet. Para tanto, organizamos e os disponibilizamos no material hipermídia, facilitando o seu uso e a exploração, sem que o aprendiz necessite acessar a Internet, podendo fazer uso a qualquer instante em seu próprio computador.

Acreditamos que fazer uso desses simuladores isoladamente não é eficiente, por isso, inserimos juntamente com o simulador, um pequeno texto instrucional, explicando o uso do aplicativo e, depois desafiamos os alunos a seguir um roteiro de atividades, as quais buscam fazer o aluno a pensar e refletir criticamente sobre os fenômeno em que está simulado. Portanto, inserimos os simuladores dentro do texto didático, acoplando-os a nossa metodologia de ensino.

Em nosso material, disponibilizamos no total, 13 simuladores Java Applets, possibilitando a simulação de fenômenos da ótica, podendo o aluno modificar dados, fazer comparativos, testar hipóteses, relacionar as informações contidas no texto com os resultados obtidos na simulação, isso tudo quantas vezes ele achar necessário.

Na figura 9, mostramos a tela de um dos simuladores disponíveis no material, tal simulador permite simular o efeito fotoelétrico, onde o aluno pode interagir alterando variáveis, como o comprimento de onda (*wavelength*) da luz da fonte, a intensidade da fonte de luz, podendo trabalhar com intensidade baixa (*Low intensity*) ou intensidade alta (*High intensity*). O aluno pode começar (*start*) o experimento e pará-lo (*stop*) para fazer observações, apenas clicando com o mouse sobre tais ícones.

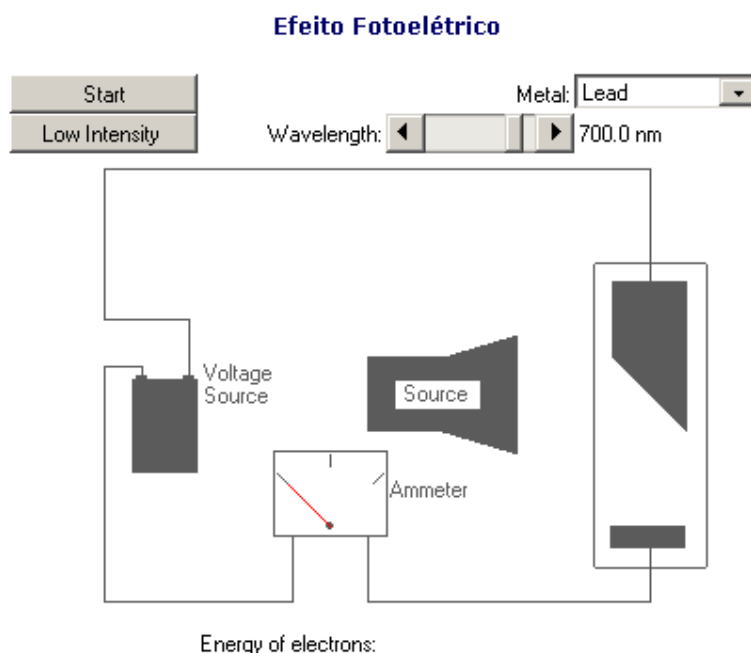


Figura 9 – Tela inicial do simulador do Efeito Fotoelétrico disponibilizado no material

Quando do uso de simuladores Java Applets em nosso material, orientamos os alunos sobre como usá-lo, e posteriormente indicamos atividades para serem realizadas a partir do mesmo, conforme demonstrado na figura 10, abaixo.

■ **Natureza da Luz**  
 Natureza Corpuscular da Luz  
 Efeito Fotoelétrico  
 Efeito Compton  
 Luz e Radiação

■ Fontes de Luz  
 ■ Princípios da Ótica Geométrica  
 ■ Reflexão  
 ■ Espelhos Planos  
 ■ Espelhos Curvos  
 ■ Refração da Luz  
 ■ Lentes Esféricas  
 ■ Interferência  
 ■ Difração  
 ■ Polarização  
 ■ Referências  
 Davidson  
 physics

Simulador 1.1.3 - Simulador Java Applet, oportunizando você a simular o efeito fotoelétrico com diferentes materiais - Applet Desenvolvido por Phillip Warner - <http://wigner.byu.edu/Photoelectric/Photoelectric.html>.

**Como usar o simulador acima:**

- Na parte superior esquerda do applet, tem o ícone *start* (começar) e que muda para a função *stop* (parar) quando a fonte está emitindo luz.
- Na parte superior direita do applet, tem o ícone onde você pode escolher o metal sobre o qual se deseja incidir a luz.
- Na parte central superior, existe o ícone *wavelength* (comprimento de onda), onde se pode escolher o comprimento de onda da luz incidente que se deseja.
- No applet, abaixo do ícone *start*, aparecem os ícones *Low intensity* (intensidade baixa) e *High intensity* (intensidade alta). Ao clicar nesses ícones, você pode variar a intensidade de luz emitida pela fonte.
- A energia dos elétrons (*Energy of electrons*) informada, refere-se ao valor de energia de ejeção dos elétrons.

**Clique no ícone *start* e observe o que acontece ao diminuir o comprimento de onda da luz incidente. Em que comprimento de onda começa a ocorrer efeito fotoelétrico (elétrons ejetados do metal)? Desconsidere o amperímetro (*Ammeter*).**

**ATIVIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS COM AUXÍLIO DO SIMULADOR 1.1.3:**  
 (As atividades abaixo foram adaptadas das idéias iniciais de meu colega do mestrado professor Alberto Antônio Mees e minhas, as quais compartilhamos durante as aulas da disciplina de TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA 1).

Figura 10 – Tela de orientação sobre uso do simulador do Efeito Fotoelétrico

Ao começar o experimento do efeito fotoelétrico, caso o aluno tenha escolhido determinado comprimento de onda de luz a ser emitido pela fonte (luz vermelha), sobre uma superfície de um determinado metal, percebe que não existe a ejeção de elétrons do metal, conforme figura 11. Ao diminuir o comprimento de onda da luz emitida, ou seja, aumentando a frequência (luz ultravioleta), percebe que para o mesmo metal existe ejeção de elétrons, onde o próprio simulador apresenta a energia com que os elétrons são ejetados, conforme podemos verificar na figura 12.

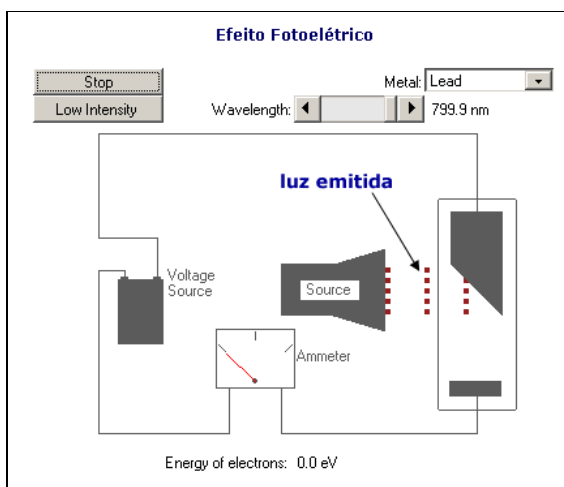


Figura 11 – Demonstração da não ejeção de elétrons

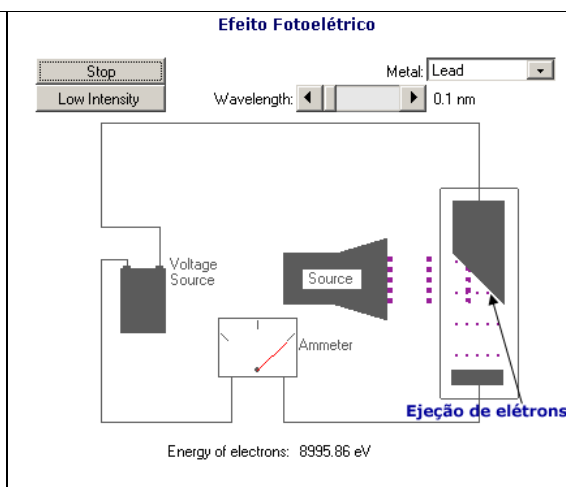


Figura 12 – Demonstração da ejeção de elétrons

O aluno terá a oportunidade de associar o experimento às informações disponibilizadas ao longo do texto e as animações anteriormente apresentadas, devendo entender que os fótons ao penetrarem na superfície metálica, atingem os

elétrons transferindo toda a sua energia, observando que para ocorrer o efeito fotoelétrico é necessária uma energia emitida superior à energia da função trabalho do elétron no metal, e que o efeito é facilmente observado ao usar-se luz violeta ou ultravioleta, mas não quando se usa luz vermelha.

Testando as relações de aumento da intensidade de luz emitida e mantendo-se baixa freqüência, ou seja, para o caso que não existia a ejeção de elétrons conforme figura 13, o aluno perceberá que os elétrons não serão ejetados com o aumento de intensidade. Na figura 14, simulamos o aumento da intensidade de luz, para o caso onde já existe ejeção de elétrons, o aluno pode observar que a taxa com a qual os elétrons são ejetados é proporcional à intensidade da luz, e que a energia máxima dos elétrons ejetados não é afetado pela intensidade da luz. Mostrando, portanto que a energia dos elétrons depende realmente da freqüência da luz emitida.

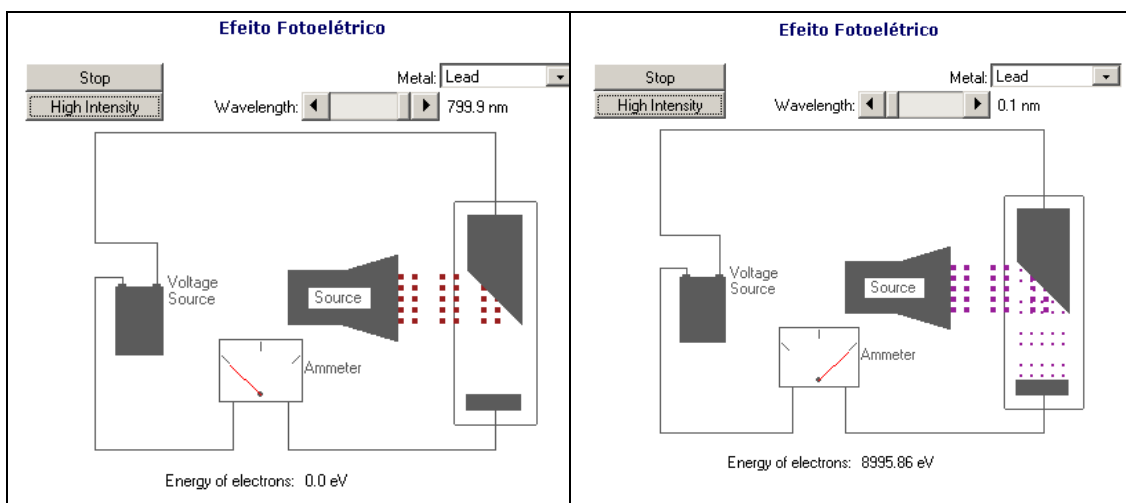


Figura 13 – Demonstração do aumento de intensidade

Figura 14 – Demonstração de aumento de ejeção

Mostramos, nas figuras acima (11, 12, 13 e 14), algumas potencialidades que podem ser exploradas nos simuladores tanto por alunos ou professores no estudo do tópico, recomendando sempre fazer o uso dos mesmos de forma orientada, para que realmente sejam atingidos os objetivos propostos.

### IV.3 – CRIAÇÃO E USO DAS ANIMAÇÕES

Acreditamos que as animações também são muito positivas, servindo de organizadores prévios, facilitando a ocorrência da aprendizagem significativa nos alunos, conforme já escrito nos capítulos anteriores dessa dissertação.

Desenvolvemos, ao longo do nosso trabalho, 77 animações, usando, para tal, duas ferramentas, o Software Macromedia Fireworks 4 e o Software Macromedia Flash 5, todas disponibilizadas no material de ótica. A maioria dessas simulações são figuras e imagens criadas. Em alguns casos, usamos imagens captadas para montar a simulação, desejando com estas animações facilitar ao aluno o entendimento lógico dos fenômenos da ótica.

A criação de uma animação de um determinado fenômeno físico envolve um pequeno conhecimento técnico do software a ser utilizado, um bom conhecimento físico do referido fenômeno a ser simulado e muita paciência, pois para o desenvolvimento de tais simulações necessitamos de um tempo. Mostraremos, a seguir, alguns passos que foram utilizados no desenvolvimento das animações.

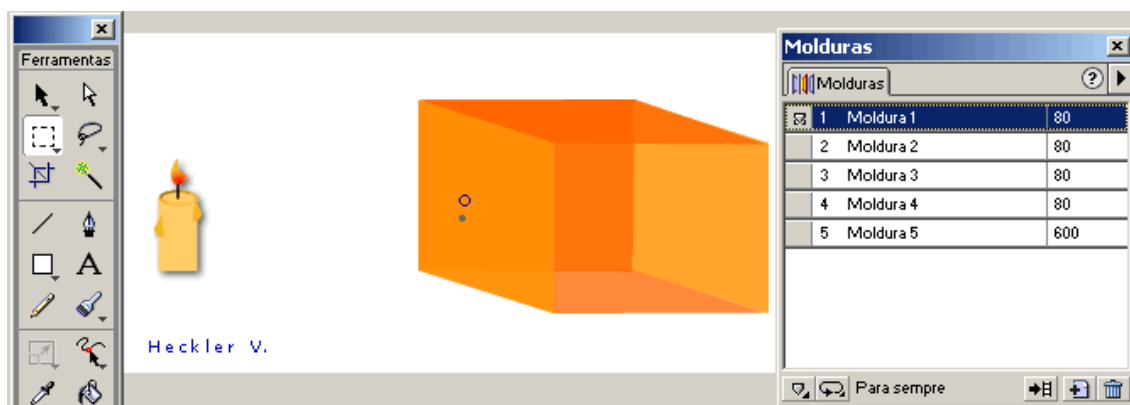


Figura 15 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmara escura, camada 1

Apresentamos, na figura 15, o desenvolvimento da primeira camada da simulação de propagação retilínea da luz em uma câmara escura e a formação de uma imagem invertida, desenhando com auxílio das ferramentas do próprio software, a caixa com um orifício (o) pequeno, e uma vela salvando-as como a moldura da camada 1.



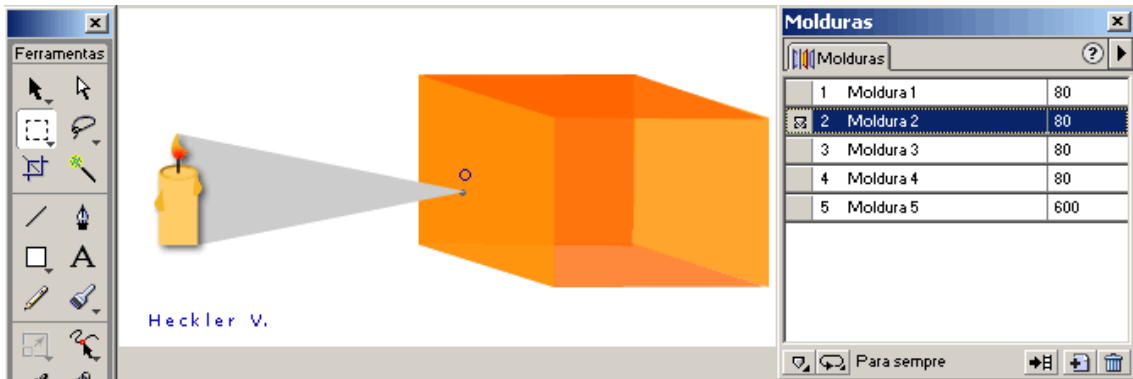


Figura 16 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmara escura, camada 2

Criamos a camada 2 a partir da camada 1, ou seja, aproveitamos o que já estava pronto e acrescentamos a imagem que queríamos, conforme demonstrado na figura 16, desenhando e acrescentando neste caso a trajetória de propagação da luz que atinge o orifício (o) da câmara escura e a salvamos como camada 2.

Na camada 3, acrescentamos a trajetória de propagação da luz no interior da câmara escura, mostrando ao aluno que o raio de luz que sai da parte superior da vela é o raio que está se propagando na parte inferior da caixa, e que o raio que sai da parte de baixo da vela percorre o caminho contrário, conforme demonstrado na figura 17.

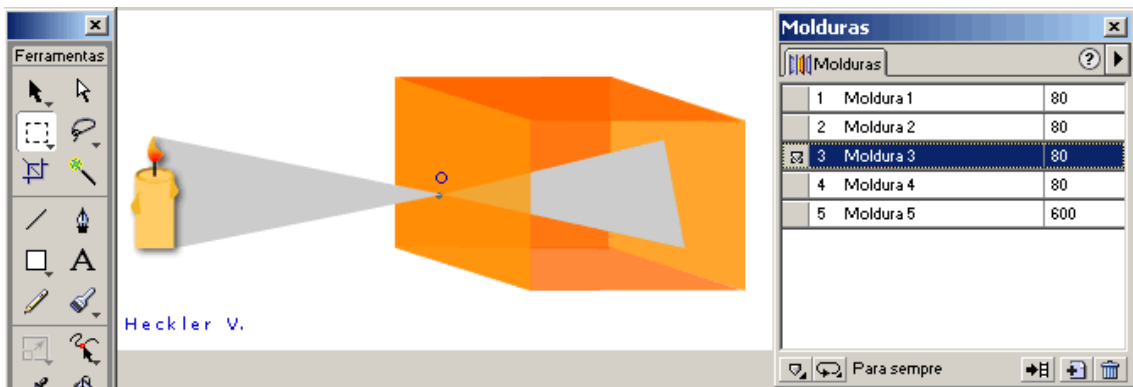


Figura 17 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmara escura, camada 3

Na camada 4, apresentado na figura 18, desenhamos a vela como imagem formada sobre o anteparo no interior da câmara escura, podendo ser visualizada a formação da imagem de forma invertida.

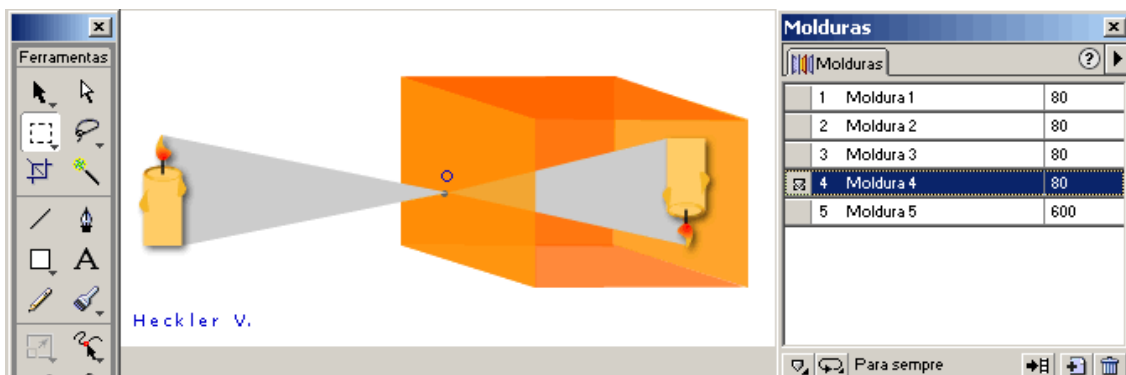


Figura 18 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmera escura, camada 4

Aproveitamos a 5ª camada para mostrar as variáveis, tamanho do objeto ( $AB$ ) e da imagem ( $AB'$ ), a distância do objeto ( $d$ ) e da imagem ( $d'$ ), em relação ao orifício da câmera escura, conforme demonstramos na figura 19.

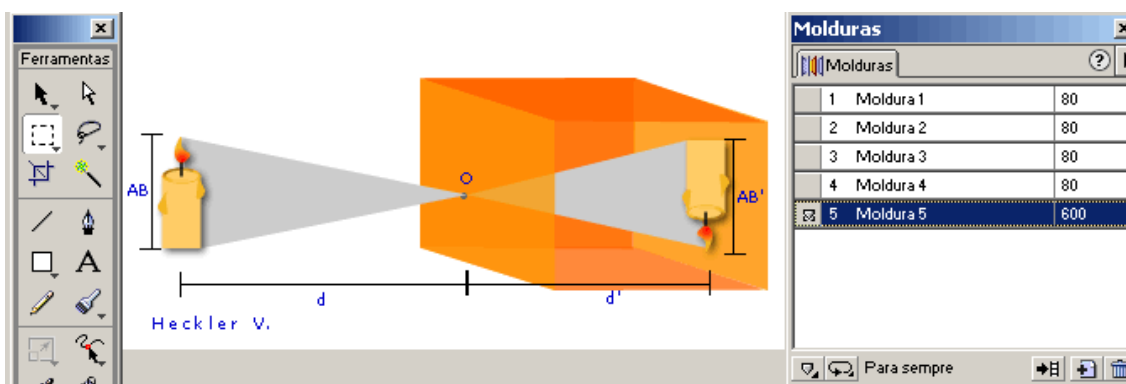


Figura 19 – Desenvolvimento da animação de formação da imagem na câmera escura, camada 5

Após ter criado as camadas, incluímos o tempo de passagem de uma moldura para a outra, através do recurso “retardo da moldura”, conforme mostrado na figura 20, permitindo criar a seqüência de passagem de cada desenho e posteriormente salvando o arquivo na extensão gif. animado. Disponibilizado no material, o aluno pode refletir sobre o fenômeno da câmara escura reproduzido na tela do computador e confrontar com as idéias iniciais que ele tinha sobre o assunto, relacionando-as com a realidade física.

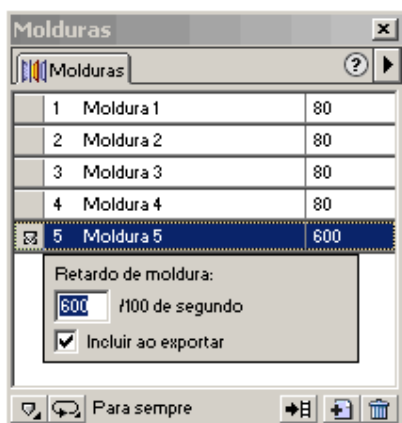


Figura 20 – Indicação do tempo de retardo da moldura

Fizemos uso de tais simuladores em nosso material, como o citado nos exemplos acima, inseridos em um contexto de representação de fenômenos ou situações da ótica para facilitar a compreensão dos mesmos, sendo que os organizamos dentro de cada tópico, acompanhados de um texto explicativo, ou seja, os simuladores devem servir para auxiliar na capacidade de raciocínio do aluno, que estará associando o texto explicativo ao acontecimento que está ocorrendo na animação, conforme mostrado na figura 21, a qual permite observar a organização e associação das animações ao próprio texto didático.

- Natureza da Luz
- Fontes de Luz
- Princípios da Ótica Geométrica
  - Feixes, Raios e Pincéis de Luz
  - Eclipses do Sol e da Lua
  - As Fases da Lua
- Reflexão
  - Espelhos Planos
  - Espelhos Curvos
- Refração da Luz
- Lentes Esféricas
- Interferência
- Difração
- Polarização
- Referências

Davidson  
physics

O princípio da propagação retilínea da luz também se aplica à explicação do funcionamento da câmara escura de orifício, a qual basicamente é uma caixa revestida internamente com material opaco, com um pequeno furo (orifício) em um dos lados da câmara, para penetração da luz. Observa-se na simulação abaixo (simulação 3.2.6), que a luz emitida pelo objeto ao passar pelo orifício formará uma imagem invertida no anteparo da caixa. A semelhança, entre os triângulos ABO e AB'O, permite obter uma relação simples entre a distância (d) do objeto ao orifício (O), a altura do objeto (AB), a profundidade da câmara (d') e a altura da imagem (AB')

$$\frac{AB'}{AB} = \frac{d'}{d}$$

Heckler V.

Simulação 3.2.6 - Simulando objeto luminoso aparecendo invertido no anteparo fosco da câmara escura.

Figura 21 – Demonstração de organização e associação da animação no texto didático

#### IV.4 – OBTENÇÃO E USO DAS IMAGENS ESTÁTICAS

Frente à importância da informação visual na aprendizagem da maioria dos jovens, buscamos também usar imagens, figuras e esquemas estáticos como uma forma de agregar dados visuais, quando não o fizemos com simuladores e animações.

No total disponibilizamos 64 imagens estáticas no material, distribuídos em 44 imagens geradas no computador, 14 fotos que obtivemos com câmera digital e 6 imagens que copiamos de outros materiais, todas elas inseridas em um contexto do material didático, para servirem de pontes entre aquilo que aluno sabe (conhece) e aquilo que ainda falta, na busca de acelerar a ocorrência de assimilação dos fenômenos óticos e posteriormente a aprendizagem significativa.

Exemplificamos na figura 22, uma das figuras que geramos no computador, mostrando para qual finalidade que estas foram produzidas, a sua inserção no texto e as potencialidades informativas que podemos explorar das mesmas. Neste caso são apresentadas às relações trigonométricas existentes no caminho da luz ao atravessar uma lâmina de faces paralelas, podendo ser observado o fenômeno da refração quando o raio de luz passa do ar para o vidro e do vidro para o ar.

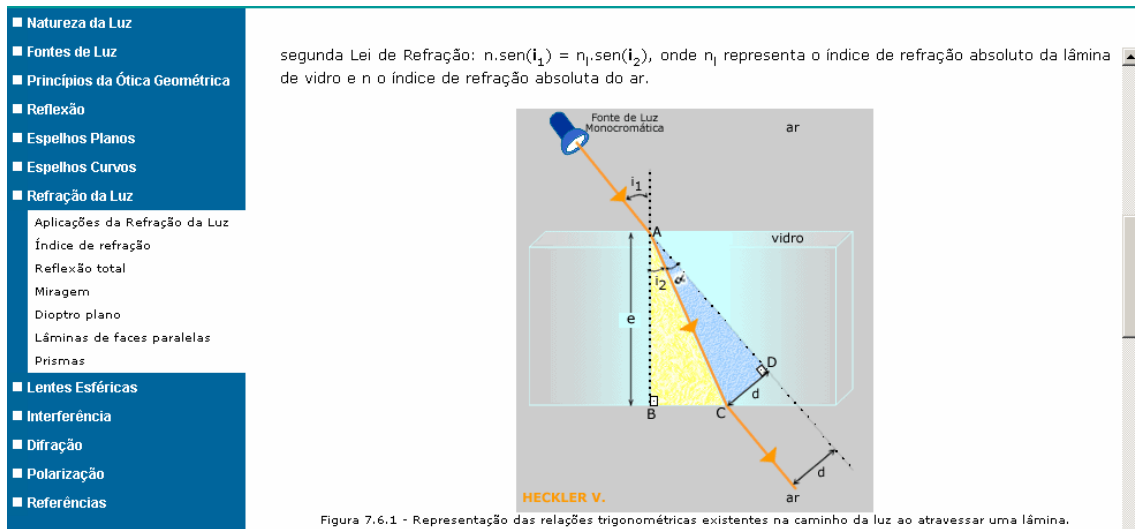


Figura 22 – Demonstração de figura gerada no computador

Para que as imagens que estão sendo utilizadas no material possam se tornar facilitadoras de aprendizagem, é necessário que o aluno não apenas olhe para elas e veja uma simples imagem, mas é preciso que o mesmo associe o texto aos dados informativos que esta lhe repassa, criando então diferentes relações e significados, auxiliando assim na construção de seu conhecimento.

Uma das grandes potencialidades de uso de câmeras fotográficas digitais é a boa qualidade nas imagens que podemos obter, mostramos um exemplo disso na figura 23, onde temos inserido no material e no contexto do mesmo, uma foto de um filamento de lâmpada comum emitindo luz pelo processo de radiação térmica, obtido no Laboratório de Física da escola.

- Natureza da Luz
- Fontes de Luz
  - Fontes de Luz
  - Cores de corpos luminosos
  - Cores de corpos iluminados
- Princípios da Ótica Geométrica
  - Reflexão
  - Espelhos Planos
  - Espelhos Curvos
  - Refração da Luz
  - Lentes Esféricas
  - Interferência
  - Difração
  - Polarização
  - Referências

Davidson  
physics

Todos os corpos emitem radiação térmica; um corpo muito quente pode tornar-se brilhante (emitindo luz visível) devido ao intenso movimento térmico de suas partículas. Cita-se como exemplos a chama de uma vela, o carvão que usamos para fazer o churrasco, a resistência elétrica do ferro de passar roupas, o filamento de uma lâmpada incandescente que aparece na figura abaixo (figura 2.1.2).

Figura 2.1.2- Filamento de uma lâmpada comum emitido luz pelo processo de radiação térmica.

Figura 23 – Demonstração de figura (foto) obtida com câmera digital

## **CAPÍTULO V**

### **IMPLANTAÇÃO DO MATERIAL DESENVOLVIDO**

Após desenvolvermos o material para o ensino de ótica, utilizamos o mesmo nas aulas da 3ª série de Ensino Médio, da Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM), objetivando verificar a aceitação e o entendimento do conteúdo pelos alunos, buscando também críticas e sugestões para possíveis melhorias.

Não faz parte desse estudo a verificação e análise criteriosa da eficácia quantitativa e qualitativa desse material desenvolvido e aplicado, devendo esse estudo ser feito num trabalho posterior, conforme previsto no projeto. É importante notar que é impossível fazer uma avaliação comparativa de um material a partir de uma única aplicação. Este estudo deve ser feito em trabalho posterior, a partir de sua aplicação em várias turmas, e mesmo assim deve ser desenvolvida uma ferramenta avaliativa para estes tipos de materiais. Neste capítulo relatamos a implantação do material e a metodologia utilizada, assim como a recepção e a avaliação do material pelos alunos.

#### **V.1 - DESCRIÇÃO DO AMBIENTE ESCOLAR ONDE FOI IMPLANTADO O MATERIAL**

O material desenvolvido foi utilizado nas aulas de uma turma da 3ª série do Ensino Médio, pertencente ao Centro de Ensino Médio, da Sociedade Educacional Três de Maio, uma instituição de ensino ligada a Rede Sinodal de Educação, localizada na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Mostramos na figura 24 uma das 3 unidades da instituição, onde funciona o Centro de Ensino Médio.



Figura 24 – Vista aérea da estrutura física do Centro de Ensino Médio - SETREM  
Fonte: <http://www.setrem.com.br/album/index.php>

A SETREM é uma instituição comunitária e filantrópica, atuando em educação desde a pré-escola até cursos de pós-graduação, tendo em sua missão: “Produzir, desenvolver o conhecimento para a promoção da qualidade de vida, alicerçada nos valores cristãos”.

A direção, a coordenação pedagógica e a coordenação do Ensino Médio da Instituição apoiaram integralmente a iniciativa de nossa proposta, dando suporte necessário para fazermos uso desse material em nossas aulas de física.

A carga horária de Física nesta turma de Ensino Médio é de 3 horas semanais. O professor adota livro didático, tendo a sua disposição, além da sala de aula normal, salas VIP com projetor multimídia conectado à Internet, televisão e vídeo, 5 salas de informática com 20 computadores em cada uma, ligados à Internet, com projetor multimídia e/ou televisão acoplado a computador e um Laboratório de Física.

Inicialmente a turma era composta por 23 alunos, deste grupo participando efetivamente de nossas atividades 21 alunos, pois uma aluna transferiu-se para outra escola e outra se encontra afastada devido a problemas de saúde.

Os alunos podem ser considerados da camada social média ou alta, possuindo acesso a computador em suas próprias casas, portanto não apresentando dificuldades de uso do referido equipamento. A própria escola

oportuniza acesso gratuito de Internet a todos o seus alunos, disponibilizando os laboratórios de informática para tal.

## V.2 – METODOLOGIA UTILIZADA NA IMPLANTAÇÃO DO MATERIAL

Inicialmente apresentamos aos alunos a forma como estaríamos desenvolvendo o conteúdo de ótica, ou seja, falamos sobre o uso do material interativo desenvolvido, material este que todos receberam em CD-ROM, da importância de um bom uso do material nas aulas e em casa, desafiando-os para compartilharem dificuldades, assinalando possíveis falhas encontradas no referido material e sugerindo eventuais mudanças.

Durante as nossas aulas de ótica exploramos o Laboratório de Informática, Laboratório de Física e a própria sala de aula, sugerindo também o uso do livro didático bem como de outros referenciais existentes, para o aprofundamento dos conteúdos, bem como a resolução de questões e exercícios complementares.

No total trabalhamos ótica em 31 horas aula, no período de 16 de junho a 01 de setembro de 2004, carga horária esta que foi distribuída da seguinte forma:

- 14 horas aula no Laboratório de Informática;
- 9 horas aula na sala de aula ou sala VIP;
- 4 horas aula no Laboratório de Física;
- 4 horas aula em prova e/ou avaliação do material.

Durante as aulas no Laboratório de Informática, introduzimos conceitos, esquemas, apresentando explicações sobre as simulações, auxiliados por projetor multimídia e ou quadro branco. Os alunos fizeram uso do CD-ROM acompanhando no monitor as simulações, as imagens, partes do texto e usando dos simuladores (Java Applets) nas atividades propostas.

No Laboratório de Informática exercemos a postura de orientador, de facilitador, deixando o maior tempo da aula para o aluno trabalhar no material,



portanto, o aprendiz desempenhou o papel de construtor de seu conhecimento. Quando do uso dos simuladores interativos, buscamos desafiar o aluno a trabalhar coletivamente com outro colega, para facilitar a troca de idéias, o confronto de diferentes relações, e promover a aprendizagem socialmente.

Buscamos fazer o aluno passar da postura de mero receptor de informações, para alguém co-responsável em construir o seu conhecimento, pois a grande maioria das informações sobre ótica estava disponível no próprio CD-ROM, necessitando o aluno estar pré-disposto a buscá-lo. Aí novamente entra a nossa figura em ação na sala de aula, a de um professor incentivador, um motivador, buscando fazer o aluno a trabalhar e participar de cada momento de aula.

Mostramos na figura 25, o ambiente de aula no Laboratório de Informática da escola, no momento em que os alunos estavam trabalhando com o material e o professor esquematizando determinada explicação no quadro branco.



Figura 25 – Ambiente de aula no Laboratório de Informática

Usamos a sala de aula ou a sala VIP para promover discussões sobre dúvidas do grupo em relação a conteúdos disponibilizados no material, mas principalmente para trabalharmos questões e exercícios relacionados ao assunto estudado na semana. Como tínhamos 3 horas aulas semanais, aproveitamos uma

hora aula para este trabalho em sala de aula e as outras 2 horas foram disponibilizadas para trabalharmos no Laboratório de Informática.

Acreditamos que é de suma importância o aluno poder manusear equipamentos, fazer medidas reais, poder testar hipóteses, tirar dúvidas, construir relações entre as diferentes grandezas envolvidas a partir do experimento real. Para tanto, utilizamos parte de nosso tempo para fazermos uso do Laboratório de Física da escola.

Na figura 26 apresentamos o grupo de alunos e professor no Laboratório de Física da escola, no qual trabalhamos com alguns experimentos voltadas à ótica geométrica, dos quais citamos: a reflexão num espelho plano, as reflexões múltiplas entre espelhos planos, reflexão em espelhos esféricos, a refração e suas leis, refração nas lentes esféricas, funcionamento do olho humano e outros que usamos apenas como demonstração.



Figura 26 – Alunos e professor no laboratório de física da escola

### V.3 – RECEPÇÃO DO MATERIAL PELOS ALUNOS

Os alunos ao receberem o material em CD-ROM, foram desafiados a fazerem uso do mesmo, em suas casas, nas aulas de Física realizadas no Laboratório de Informática, sendo estimulados a o fazerem de forma crítica, buscando identificar

aspectos positivos do material em uso para a sua aprendizagem, problemas ou sugestões de melhoria no mesmo.

Durante as aulas no Laboratório de Informática observamos a cada aula a postura do aluno frente ao material, as possíveis dificuldades apresentadas ao trabalhar com o CD-ROM no computador, a compreensão e o nível das respostas dadas às atividades propostas ao usar os simuladores interativos e a existência ou não de desvios de sua atenção.

O trabalho com o computador despertou visivelmente em nossos alunos um maior interesse pelas aulas de ótica, pois enfrentamos menos problemas neste ambiente, como conversas fora do contexto de aula, chegada em atraso de alunos à sala de aula, ou não participação efetiva da aula, de que quando da realização das aulas de física com outras turmas da escola, onde não fizemos uso do Laboratório de Informática.

Na primeira aula, notamos um interesse maior dos alunos na observação das imagens, dos esquemas e do uso dos simuladores. Ignorando em partes, a leitura dos textos teóricos, dos textos explicativos, como por exemplo, o das dicas de uso dos simuladores. Observamos que ao invés do aluno ler no material as atividades propostas, a grande maioria deles preferiu perguntar ao professor o que é para ser feito.

Com o uso do material, mudamos a nossa postura de professor, buscando não sermos um mero repassador de informações, não dando respostas prontas, e sim mostrando ao aluno a importância da leitura dos textos teóricos e explicativos, e da necessidade de associá-los as imagens e aos simuladores para uma boa compreensão de cada tópico trabalhado e possibilitar a resolução das atividades propostas.

Os alunos, ao fazerem uso do material em casa para o aprofundamento de seus estudos e realização de atividades propostas, não identificaram problemas quanto ao funcionamento do CD-ROM, ou na execução dos simuladores, revelando o bom funcionamento do mesmo, tanto nos laboratórios da escola bem como nos computadores dos alunos.

Na segunda semana de uso do CD-ROM, propomos aos alunos a escreverem sobre as possíveis vantagens e desvantagens visualizadas por eles em relação ao uso do material, para ser entregue de forma espontânea. Transcrevemos alguns desses relatos abaixo:

*“Gostei muito das aulas elaboradas com a utilização do CD. A aula não se torna cansativa e existem diferentes meios para a realização de pesquisas. Cada aluno deve saber utilizar seu material, com ajuda de colegas, existindo troca de conhecimentos. O CD foi muito bem elaborado, com explicações, exemplos de fácil entendimento e extremamente visíveis (para nós que não somos grandes entendedores da ciência). Aspectos negativos eu não encontrei. É muito bom mudar as formas de aula, para chamar a atenção de todos e despertar a vontade de aprender e pesquisar cada vez mais.” (J. S.)*

*“Vantagens: São várias, por exemplo, a grande dificuldade que eu tenho em física é não poder imaginar os esquemas que são feitos no quadro, por esse novo método de ensino, os esquemas se movimentam facilitando o aprendizado, sem contar a facilidade de encontrar os conteúdos. Desvantagens: Se as aulas serão feitas tanto na sala de aula como no Laboratório de Informática, não vejo problema algum. Poderia ter uma apostila igual ao CD com exercícios. Observação: Minha mãe adorou esse método de ensino.” (É. S. S.)*

*“Na minha opinião, essa proposta de trabalho é muito boa. Nós só temos a ganhar com isso. O CD ficou muito legal e vai ser de ótimo aproveitamento, até porque nele tem simulações, que facilita a aprendizagem dos conteúdos. Além do mais, que com esse material e esquema as aulas não se tornam monótonas. Só vejo pontos positivos.” (A. F.)*

*“Acho o material bem legal e bom de se trabalhar, gosto de “coisas” relacionadas ao computador e a 1ª aula foi muito boa, com o professor explicando no quadro e os alunos analisando os conteúdos no computador. Penso que dessa forma fica melhor de aprender, pois alguns exemplos são animados, dessa forma os alunos não precisam imaginar como é o fenômeno. As vezes é quase impossível de imaginar, e assim com a simulação tudo fica mas claro na tela do computador; não*

*por preguiça de imaginar, mas é bem mais fácil de entender. Eu dei uma olhada no material em casa e tudo funcionou corretamente, e a organização do material esta excelente. Acho essa idéia inovadora, apesar de ser bastante trabalhosa e difícil de ser elaborada, a escola deveria investir neste tipo de material de estudo. Uma “falha” é que não podemos escrever e alterar dados em alguns exemplos e tabelas.” (M. L. S.)*

*“Nesse tipo de material, encontrei muito mais vantagens do que desvantagens porque por um lado à gente visualiza as figuras, e torna-se mais fácil de entender a explicação do conteúdo e o ambiente é diferente, o que ajuda também. Por outro lado isso pode colaborar para a desatenção de certos alunos.” (J. T. D.)*

Perante o posicionamento dos alunos, verificamos uma boa receptividade inicial do material. Mas com o objetivo de obtermos uma visão mais aprofundada e completa de avaliação, desenvolvemos e aplicamos um instrumento de avaliação qualitativa, coletando dados das opiniões de nossos alunos, após o término do uso do referido material em sala de aula, referentes à qualidade, a importância, a necessidade de mudança, a metodologia utilizada na aplicação, do CD-ROM, os quais serão analisados no próximo item deste capítulo.

#### V.4 – AVALIAÇÃO SOBRE USO DO MATERIAL EM SALA DE AULA

O instrumento de avaliação do material e os dados coletados se encontram organizados no apêndice B, anexo a esta dissertação. Faremos a avaliação do material, baseados principalmente na análise das opiniões dos alunos, e das observações feitas ao acompanharmos as aulas.

Os alunos não apresentaram discordância quanto ao fato da importância do material disponibilizado em CD-ROM para sua aprendizagem em ótica, conforme mostrado no gráfico da figura 27, a maioria, ou seja, 81% dos mesmos apresentam concordância, dizendo que o material foi importante para terem aprendido ótica, outros 19% apontam que o material foi importante para a sua aprendizagem, mas o fazem com restrições, podendo a resposta estar associada ao fato que outros meios também foram importantes à sua aprendizagem.

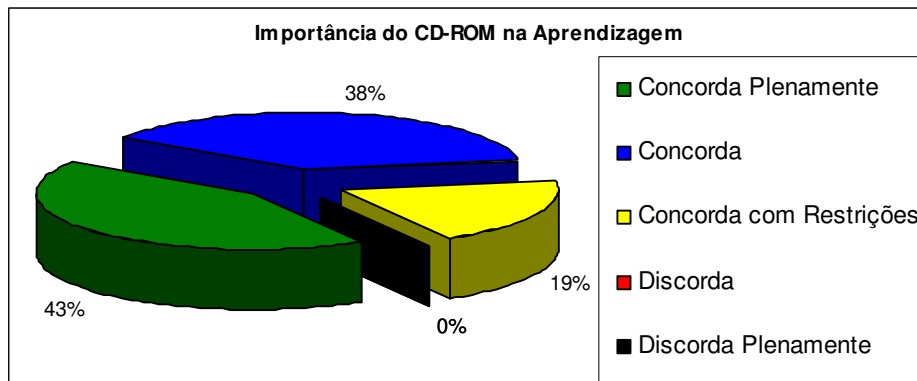


Figura 27 – Demonstração dados sobre a importância do CD-ROM na aprendizagem de ótica

Um percentual de 81% dos alunos acredita, que aprenderam os tópicos de ótica com auxílio do material disponibilizado em CD-ROM, e 19% dos mesmos assinalaram que os aprenderam com restrições, nos indicando a existência de casos, onde não houve aprendizagem de todos os tópicos disponibilizados no material.

Quando questionados sobre o nível do material disponibilizado em CD-ROM, 62% dos alunos, o considerou muito bom, 14% dos mesmos o classificou em excelente e 24% apontaram que o material apresenta um nível bom, comprovando a boa receptividade dos alunos frente ao uso do mesmo em sala de aula.

Durante os estudos de ótica foram efetuadas, aulas expositivas, aulas no Laboratório de Informática (com CD-ROM), discussão de exercícios na sala de aula, estudo feito no livro didático e aulas experimentais (no Laboratório de Física). O aluno classificou por grau de importância os itens acima, que em sua opinião foram mais úteis para o processo ensino/aprendizagem de ótica (tabela 6). O 1 é o maior grau de importância (a escala do grau de importância decresce de 1 até 5).

Tabela 6 – Demonstração do grau de importância atribuída às formas de ensino/aprendizagem

Forma de ensino/aprendizagem	Grau de importância atribuída				
	1	2	3	4	5
Aulas expositivas	4,76%	19,04%	42,85%	28,57%	9,52%
Aulas no Laboratório c/ CD-ROM	52,38%	28,57%	4,76%	9,52%	0%
Discussão de exercícios na aula	9,52%	23,80%	33,33%	23,80%	4,76%
Estudo no livro didático	9,52%	0%	4,76%	19,04%	66,66%
Aulas no Laboratório de Física	23,80%	28,57%	9,52%	19,04%	19,04%

Ao analisarmos os dados acima, verificamos que a maioria dos alunos (52,38%), considerou que a forma mais útil de ensino/aprendizagem foi as aulas no Laboratório de Informática, em seguida em grau de importância 2, as aulas no Laboratório de Física, as quais foram citadas por 23,80% dos alunos como também uma das formas mais importantes neste processo. As aulas expositivas e as discussões de exercícios na aula são na visão dos estudantes a 3ª e 4ª forma mais importantes e, com grau de importância menor foi indicado o estudo no livro didático.

Mostrando de uma certa maneira um resultado positivo quanto à importância do material e da metodologia para o processo de ensino/aprendizagem, mas devemos lembrar que esse resultado deve estar diretamente ligado à carga horária de trabalho destinada a cada uma das formas, nos levando a refletir sobre a importância de cada metodologia dentro de uma sala de aula. Notamos que todas elas foram citadas pelos alunos, em proporções diferentes, o que nos leva a verificar que existem alunos que apreendem mais facilmente com uma do que com outra metodologia, nos levando a assumir uma postura de não dizer que um método é mais ou menos importante do que o outro, no processo ensino/aprendizagem.

Após o término do estudo da ótica, 61% dos alunos apontam que os fenômenos óticos estudados, portanto disponibilizados no material, são importantes para a sua formação, outros 29% consideram os mesmos são importantes, mas com restrições, e outros 10% dos estudantes não consideram importantes os fenômenos estudados para suas formações. Indicando de certa forma uma carência em nosso material, de referências às aplicabilidades tecnológicas, as situações cotidianas dos fenômenos estudados, o que provavelmente aumentaria o percentual de importância para formação do aluno, dos fenômenos disponibilizados no material.

A exploração do material interativo (CD-ROM) no Laboratório de Informática, com uso de simuladores e imagens, na visão de 95% dos alunos despertaram maior interesse pelas aulas de física, os demais 5% concordam com restrições. Esses dados mostram o grande potencial motivacional existente nas ferramentas disponibilizadas pela informática, as quais podem e devem ser exploradas pelos professores.

Ao analisarmos a postura do professor nas aulas no Laboratório de Informática, quando do uso do CD-ROM pelos alunos, mostra que 62% dos mesmos consideraram o tempo deixado pelo professor para o aluno interagir com o material e os colegas como suficiente, também concordando que o professor lhe orientou e desafiou suficientemente para um bom uso do mesmo, sendo que 24% dos alunos concordam com estas afirmativas com restrições e outros 14% não concordam com tais afirmações.

Frente ao uso dos simuladores interativos (Java Applet), demonstramos na figura 28, o gráfico das opiniões dos alunos, onde a grande maioria, ou seja, 82% deles apontam que os referidos simuladores são importantes para o entendimento dos tópicos estudados, e os outros 18% também os consideram importantes, mas o fazem com restrições.

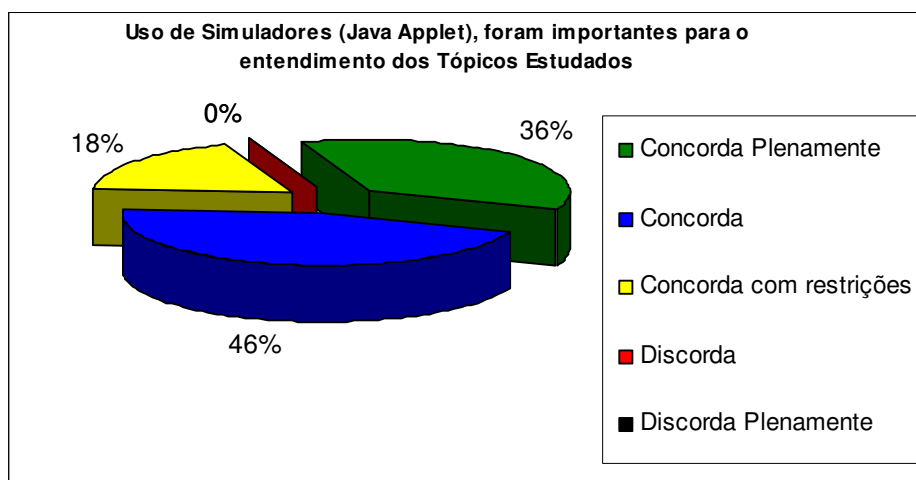


Figura 28 – Demonstração da importância dos simuladores (Java Applet) no entendimento da ótica

Demonstrando que os alunos perceberam, nos simuladores interativos uma forma de facilitação e auxílio existente para a aprendizagem significativa dos tópicos de ótica, principalmente por possibilitarem o estabelecimento de relações, repetição do experimento, e poder associá-los ao texto e as atividades existentes no material.

A boa aceitação do material e o gosto que os jovens em geral têm em trabalhar com o computador podem ser vista, ao nos depararmos com 95% dos mesmos, respondendo que não acreditam que teriam aprendido mais sobre ótica, se as aulas tivessem acontecidas sem o auxílio da informática, com as explicações do



professor no quadro e o estudo restrito no livro didático. Notamos também, que existem alunos que preferem outro tipo de metodologia, que neste caso são 5% dos mesmos.

Podemos associar o posicionamento anterior dos alunos, também ao fato de que a grande maioria deles (80%) considerou as simulações não interativas disponibilizadas no material de ótica, como mais significativas para a sua aprendizagem, do que se os mesmos fossem representados por desenhos feitos pelo professor no quadro, conforme demonstrado nos dados do gráfico da figura 29. E notamos a existência de alunos, os quais demonstram que entendem melhor, quando o professor faz no quadro os desenhos e as representações, pois 10% dos alunos concordaram com restrições ao fato das simulações disponibilizadas no material serem mais significativas e outros 10% não concordam com tal afirmativa.

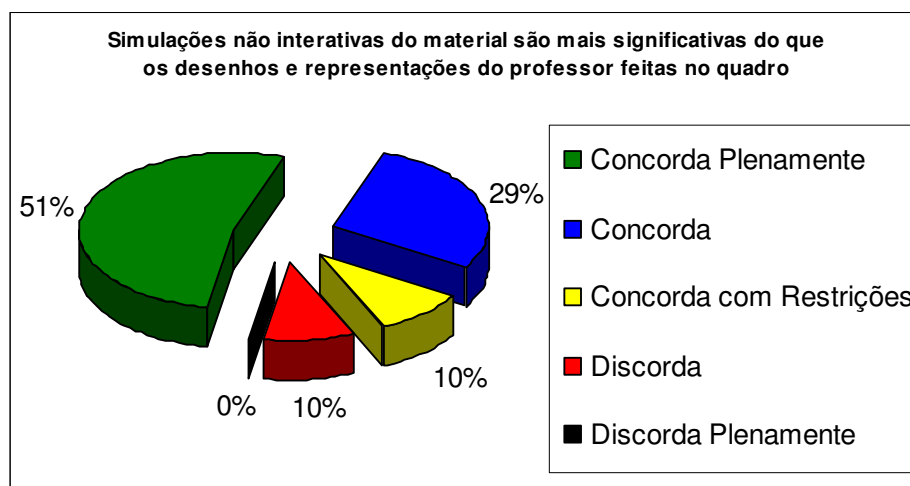


Figura 29 – Demonstração da importância atribuída aos simuladores não interativos

Portanto, os simuladores que desenvolvemos e disponibilizamos no material, apresentam-se como instrumentos potenciais para as aulas, por servirem de meio motivacional, de organizadores prévios, de facilitadores de entendimento, muito mais significativamente do que as representações que buscamos fazer no quadro negro. Mas devemos ter o cuidado e observar que nem sempre existe um entendimento claro por parte do aluno do evento físico que está sendo simulado, cabendo ao professor o papel de verificar se realmente o aluno o entendeu, ou se apenas acha que entendeu.

Apresentamos na tabela 7, o posicionamento aberto dos alunos sobre pontos fortes vistos frente ao uso do material em CD-ROM. Posicionamentos estes, que nos mostram os pontos positivos do material desenvolvido e do uso do computador como ferramenta auxiliar para as nossas aulas, aparecendo: a questão da interatividade, o uso dos simuladores, as figuras, a praticidade de acesso aos conteúdos e a motivação despertada para as aulas de física. As respostas estão associadas a um número, o que irá facilitar o comparativo com as respostas dos pontos negativos, que estaremos mostrando na próxima tabela, onde as respostas estão associadas a mesmo número do aluno.

Tabela 7 – Demonstração dos pontos fortes atribuídos a esta metodologia de ensino

<b>Aluno</b>	<b>Respostas sobre pontos fortes, frente à adoção desta metodologia de ensino no estudo da ótica</b>
1	Os alunos prestam mais atenção na aula, tem mais interesse.
2	As figuras que temos acesso facilitam muito o entendimento dos assuntos.
3	Tudo excelente.
4	A interatividade com o uso do computador facilita tudo e a vantagem de ter o material em casa.
5	Em meu ver o material está completo, e o que mais ajudou foi os desenhos que no CD-ROM ficaram mais fáceis de serem entendidas.
6	As simulações facilitam muito o entendimento; é gostoso e interessante aprender assim, com coisas novas e que "prendem" a atenção; o conteúdo é completo.
7	Não indicou.
8	As simulações ajudam num maior entendimento, podendo vê-las com mais clareza como realmente acontece, não precisamos copiar o conteúdo, podendo prestar mais atenção nas aulas.
9	É a interação simultânea do aluno com o material, enquanto o professor explica a respeito do assunto para o aluno.
10	Apreendi mais; o material me chamava mais atenção do que um livro.
11	Fortes com certeza é poder visualizar o que acontece, com detalhes.
12	Vendo os desenhos e as simulações, é mais fácil de entender o conteúdo.
13	Acho que com este material a gente só teve a ganhar. É muito bom o conteúdo dele. O que foi bom também é que na medida que a gente utiliza o professor explica e acompanha no quadro.
14	A aula avança mais rapidamente, é um material completo e bem compreensível.
15	Chama a atenção dos alunos ao aprendizado.
16	Só há pontos fortes, os desenhos são precisos, facilitando a aprendizagem.
17	Não indicou.
18	As simulações.
19	Aumento da aprendizagem, facilitando a mesma com este novo método de ensino.
20	Facilidade de aprender devido às simulações, despertando o interesse pela Física.
21	Melhor visualização e praticidade do conteúdo. Tornou as aulas mais atrativas.

Na tabela 8, apresentamos os pontos negativos indicados pelos alunos em relação ao trabalho com o material disponibilizado, os quais consideramos serem muito importantes, pois estes posicionamentos nos mostram quais cuidados

precisamos ter na elaboração de futuros materiais, no uso de instrumentos de informática e principalmente no que precisamos evoluir em nossa proposta, servindo também para deixarmos algumas sugestões para os futuros pesquisadores nesta área e sugestões para a melhoria do nosso próprio material.

Tabela 8 – Demonstração dos pontos fracos atribuídos a esta metodologia de ensino

<b>Aluno</b>	<b>Respostas sobre pontos fracos, frente à adoção desta metodologia de ensino no estudo da ótica</b>
1	Pode haver distração com o uso do computador.
2	Ficar muito tempo na frente do computador causa cansaço.
3	A distração dos alunos com outros materiais que o computador oferece.
4	A demora para a entrada no material em certas ocasiões.
5	A única dificuldade que encontrei é que estudando no laboratório de informática, pode desviar um pouco nossa atenção, mas nada impede de estudar bem em casa.
6	Em certas ocasiões dá um pouco de sono e os olhos ardem, por causa da tela do computador; O CD-ROM não pode ser visto (conteúdo) sem ter um computador.
7	Nós fizemos poucas atividades, foi muito rápido, as aulas deveriam ser mais lentas e detalhadas.
8	Pode se tornar um pouco cansativo devido ao longo tempo em frente ao computador.
9	É que às vezes o computador e o próprio material podem desviar a atenção do aluno ao professor.
10	Só achei um pouco cansativo, pois ficava muito tempo em frente ao computador.
11	Acredito que aprenderia mais com suas aulas em sala de aula. Suas aulas expositivas são muito valiosas para o meu aprendizado. Com certeza as aulas valerem mais em sala de aula do que no laboratório, esse foi meu ponto fraco, pois ficamos pouco em sala de aula.
12	O conteúdo foi passado muito rápido e fizemos poucos exercícios.
13	Alguns erros (português).
14	Baseamos o estudo mais nos desenhos do que no conteúdo escrito.
15	Deveria haver espaços para resolução dos exercícios no CD.
16	Não indicou.
17	No computador existem muitas outras possibilidades de coisas para fazer; faltou uma apostila com o mesmo conteúdo; e mais aulas práticas (no laboratório de física).
18	Erros de português.
19	Nenhum.
20	Falta de atenção que pode ocorrer, devido à internet. Algumas vezes perde muito tempo até começar a aula, devido a problemas do PC.
21	Pouco tempo para tratar os conteúdos.

Verificamos que são indicadas com maiores freqüências: a distração ocorrida, o cansaço físico, a falta de um material impresso, o pouco tempo destinado ao estudo de cada tópico, a falta de um local para resolver as atividades e alguns erros de português, como pontos fracos de nosso material e metodologia de ensino.

Quanto ao crescimento cognitivo dos alunos que usaram o material interativo, estamos limitados a fazer uma pequena análise dos resultados obtidos em duas

provas aplicadas ao longo do desenvolvimento dos conteúdos de ótica, as quais se encontram anexados a esta dissertação no apêndice C, juntamente com a organização dos resultados obtidos, fazendo um comparativo médio de acertos de questões de cada aluno em ótica em relação ao comparativo de acertos que o aluno obteve no bimestre anterior em eletricidade.

Consideramos que este talvez não seja o melhor método de avaliação, frente às mudanças implementadas, e que para tal precisa futuramente ser criada uma ferramenta específica de avaliação, pois para nós demandaria muito tempo e, frente ao volume de trabalho com que nos havíamos comprometido no projeto inicial, não incluímos o item da verificação da eficácia quantitativa e qualitativa desse material.

O resultado de desempenho da turma apresentou média de 48,09% de acertos das questões nas duas provas de ótica, não demonstrando uma variação muita significativa de acertos frente à média de 45,27% das questões nas provas do bimestre anterior sobre eletricidade. Ao avaliarmos o desempenho individual de cada aluno, notamos que 66,66% dos alunos melhoraram seu percentual médio de acertos, enquanto que o restante diminuiu ou manteve o mesmo percentual do bimestre anterior.

Durante as aulas com outra turma de 3ª série do Ensino Médio da Escola, na qual não aplicamos o material, notamos uma maior desmotivação em relação aos conteúdos que estávamos trabalhando, apresentando uma dificuldade maior na compreensão de nossas explicações no quadro, ou seja, precisando repetir mais vezes as mesmas, uma maior dificuldade na compreensão dos desenhos representativos feitos no quadro, dos fenômenos ou situações que envolvem evolução temporal.

Pela existência de uma disparidade muito grande de objetivos e níveis de conhecimentos básicos em cada uma das turmas, não conseguimos desenvolver no mesmo nível os conteúdos, portanto, não aplicamos as mesmas avaliações nas duas turmas, não permitindo fazermos um comparativo do crescimento cognitivo dos alunos que usaram o material e os que não usaram.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO**

Neste projeto desenvolvemos um texto didático com os conteúdos de ótica, tradicionalmente estudados no ensino médio, usando as novas tecnologias de ensino, associadas à informática. O nosso texto apresenta um diferencial em relação aos textos tradicionais, pois explora em abundância imagens, simuladores e animações, objetivando aumentar o interesse, a motivação, o gosto pelo estudo de ótica e, principalmente, para facilitar a compreensão dos conceitos e fenômenos envolvidos.

Durante a elaboração do material geramos 77 animações, as quais representam evoluções temporais de fenômenos ou situações da ótica, 63 imagens estáticas, sendo que 44 delas geramos no computador e 14 obtivemos com câmera digital. Organizamos 13 simuladores Java Applets que permitem ao aluno simular diferentes fenômenos da ótica. Os instrumentos (simuladores, imagens e animações) foram associados a textos teóricos explicativos e incluídos em um ambiente hipermídico, desenvolvido em linguagem html e disponibilizado em CD-ROM.

Outro diferencial que se faz presente no material é o da introdução de conceitos da física moderna, oportunizando o estudo dos Efeitos Fotoelétrico e Compton, que apresentam os conceitos de quantização da luz e da dualidade da natureza onda-partícula da luz. Estes conteúdos foram dispostos no primeiro capítulo do CD-ROM, para oportunizar uma contextualização histórica mais ampla sobre as teorias da física e servir de motivação para os alunos estudarem temas mais atuais, por exemplo, a nanotecnologia, o funcionamento do laser ou microscópios eletrônicos, publicados em revistas de divulgação científica.

Acreditamos que nossos objetivos iniciais propostos foram plenamente atingidos, pois conseguimos através do material:

- Apresentar os assuntos estudados de uma forma mais atraente e ilustrativa do que os simples exercícios propostos ou as meras descrições de fenômenos, efetuadas na maioria das aulas tradicionais.

- Mostrar uma grande quantidade de fenômenos num intervalo de tempo menor e proporcionar uma realimentação (*feedback*) imediata ao aluno.

- Mostrar fenômenos que se processam muito rápido, de uma maneira mais lenta, através da simulação, o que ajuda na compreensão dos mesmos por parte dos alunos.

- Ilustrar fenômenos que se processam muito devagar, por exemplo, as fases da Lua, os eclipses, de maneira mais rápida, através da simulação.

- Permitir ao aluno a repetição de determinado fenômeno quantas vezes forem necessárias para a compreensão do mesmo.

- Motivar estudantes que eventualmente estavam, de alguma forma, aborrecidos ou entediados com as aulas tradicionais.

Ao analisarmos as opiniões de nossos alunos (capítulo V) sobre a recepção do material e do entendimento dos tópicos disponibilizados, percebemos que estes materiais vão ao encontro da realidade da grande maioria deles, proporcionando um ambiente de estímulo, motivação e envolvimento no processo de ensino/aprendizagem, fazendo com que os alunos participem ativamente da aquisição de informações e construção do conhecimento.

Observamos que o material cria facilidades ao trabalho do professor, disponibilizando em sala de aula as animações, as simulações e as representações dos fenômenos. Estas ferramentas incrementam a compreensão da ótica, auxiliados pela possibilidade de exploração da didática interativa do material. E, um ponto muito positivo percebido com tais ferramentas, é que despertou um maior interesse pelas aulas de física na visão de 95 % dos alunos.

O desempenho dos alunos frente a duas provas de ótica apresentou média de 48,09% de acertos das questões nas mesmas, não demonstrando uma variação muita significativa de acertos frente à média de 45,27% das questões nas provas do bimestre anterior sobre eletricidade. Ao avaliarmos o desempenho individual de cada aluno, notamos que 66,66% dos alunos melhoraram seu percentual médio de acertos.

Necessitamos observar que usar simplesmente em sala de aula, os simuladores, as imagens e as animações disponibilizados na Internet, por tratar-se de um recurso de informática, ou apenas por ser diferente daquilo que usamos rotineiramente na sala de aula tradicional, seria ineficiente, por isso criamos seqüências didáticas buscando atingir os objetivos propostos.

Alertamos que mesmo criadas e disponibilizadas as orientações em cada tópico, corremos o risco dos alunos não as lerem, ficando apenas observando as imagens e as simulações no material, por isso precisamos enquanto professores, criarmos o hábito do questionamento, levando o aluno a refletir sobre as respostas dadas em cada atividade.

Em nossas observações, bem como nos próprios pontos fracos relatados pelos alunos, sentimos que o computador apresenta algumas desvantagens ao ser usado como recurso didático. Devemos estar atentos à falta de atenção dados aos ambientes, textos, ou esquemas menos atraentes do que os simuladores, as imagens, e as simulações, ou ainda corremos o risco de muitos de nossos alunos desviarem sua atenção, ou seja, estarem fora do foco de nossa aula, por estarem usufruindo outros recursos disponibilizadas pela informática, acarretando em prejuízos para o processo ensino/aprendizagem.

### **Perspectivas de Continuidade do Trabalho:**

É importante ressaltar que não encaramos o material como um produto acabado. Ao longo do seu desenvolvimento e implantação, sentimos vários aspectos que precisam ser melhorados que deixamos como um desafio de trabalho futuro, como por exemplo, o melhoramento dos textos teóricos em cada tópico, uma maior

diversificação de atividades e a inclusão de um sistema de auto-teste no final de cada capítulo.

Outro aspecto que precisa ser mais desenvolvido é o que concerne à avaliação, pois acreditamos que as provas tradicionais são instrumentos de avaliação muito limitados, e pouco efetivos na verificação do crescimento cognitivo do aluno, com este novo tipo de material. Portanto, julgamos que é muito importante o estudo e o desenvolvimento de uma proposta de avaliação da eficácia de materiais educacionais que utilizam novas tecnologias.

Para ampliação e “contextualização sócio-cultural dos conteúdos”, apontados como essenciais nos PCNS<sup>+</sup> (2003), sugerimos o desenvolvimento e a implantação em cada capítulo, de um tópico que demonstre as aplicabilidades tecnológicas relacionadas aos conteúdos estudados naquele capítulo, com a finalidade de oferecer ao aluno a possibilidade de reconhecimento e avaliação do desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com os conteúdos da ótica, e o seu papel e a importância na vida humana.

Frente aos apontamentos de alguns alunos e nossas observações, sugerimos também o desenvolvimento de uma versão impressa do material, para que os alunos possam fazer anotações, estudar quando não tiverem acesso a computador, como por exemplos no pátio da escola, no ônibus, na sala de aula, auxiliando também para redução do cansaço ou da distração provocada pelo computador, ressaltados pelos alunos.

Acreditamos que a utilização de novas tecnologias de ensino (recursos de informática), em aulas de física do ensino médio, deva ser feita como uma ferramenta auxiliar, um recurso a mais no processo de ensino/aprendizagem, nunca de forma única, ou seja, devendo ser aliada aos demais recursos existentes, cabendo ao professor a responsabilidade de dosar o tempo de uso de cada recurso, e o da criação de um ambiente em que o aluno possa perguntar, refletir, debater, pesquisar, onde ambos possam se sentir responsáveis pelo processo ensino/aprendizagem.



## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC/SEF, 1998. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br/seb/ensmed/pcn.shtml>>. Acesso em: 15 jun. 2003.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs+**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC/SEF, 1998. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br/seb/ensmed/pcn.shtml>>. Acesso em: 11 ago. 2003.

CAVALCANTE, M. A. O ensino de uma nova física e o exercício da cidadania. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 550-551, dez. 1999.

CIVILETTI, M. V. P.; ARAUJO, A. M. R. **As novas possibilidades didáticas com a chegada da Internet**. Rio de Janeiro: UFG, 1997. p. 1-27. (Série acadêmica, v. 1).

COPERVES/UFMS. **Currículos básicos do PEIES**. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/copervers>>. Acesso em: 10 jun. 2003.

EYNG, A. M. Projeto político pedagógico: planejamento e gestão da escola. **Revista Educação em Movimento**. Curitiba, v. 1, n. 2, p. 56-69, maio/ago. 2002.

FENDT, W. **Applets Java de Física**. Disponível em: <<http://www.walterfendt.de/ph11br>>. Acesso em: 15 jun. 2003.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 259-272, set. 2003.

FUN-KWUN HWANG. **NTNU JAVA - Virtual Physics Laboratory**. Disponível em: <<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava>>. Acesso em: 15 jun. 2003.

HAAG, R. Utilizando a placa de som do micro PC no laboratório didático de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 176-183, jun. 2001.

HECKLER, V. O uso de novas tecnologias no processo educativo. **Revista SETREM**, Três de Maio, v. 3, n. 4, p. 52-59, jan. /jun. 2004.

KISELEV, S.; KISELEV, T. Y. **Interactive Physics and Math with Java**. Disponível em: <[http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro\\_physics/kisalev/](http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/)> Acesso em: 15 jun. 2003.

LÉVY, P. **Cybercultura**. São Paulo: Editora 34, 1998.

LITTO, F. M. Repensando a educação em função de mudanças sociais e tecnológicas e o advento das novas formas de comunicação. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INFORMÁTICA EDUCATIVA, 3., 1996. Disponível em: <<http://lsm.dei.uc.pt/ribie/pt/textos/doc.asp?txtid=35#32>>. Acesso em: 15 jun. 2003.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.

MENDES, M. A. **Ferramentas virtuais na educação tecnológica a distância: o caso dos laboratórios virtuais e softwares de simulação**. Dissertação de Mestrado, UFSC/PPGEP, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/5652.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2003.

MORAN, J. M; MASETTO, M. T.; BEHERENS, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas: Papyrus, 2000.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-99, mar. 2000.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Teorias construtivistas**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de física, n. 10).

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

OLIVEIRA FILHO, K. de S.; SARAIVA, M. de F. O. **Astronomia e astrofísica**. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

PAAS, L. C. **A integração da abordagem colaborativista à tecnologia Internet para a aprendizagem individual e organizacional no PPGEP**. Dissertação de Mestrado, UFSC/PPGEP, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/disserta99/leslie/index.html>>. Acesso em: 15 jun. 2003.

PETITTO, S. **Projetos de trabalho em informática: desenvolvendo competências**. Campinas: Papyrus, 2003.

SCHIEL, D. et al. **Ótica para o ensino médio: programa educar da USP**. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/optica>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

SILVA, L. C. M. **Sala de física**. Disponível em: <<http://www.saladefisca.com.br>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

SILVA, R. T. **Modelagem e construtivismo no ensino de física**. Disponível em: <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/port/emc.htm>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

VALENTE, J. A. Os diferentes usos do computador na educação. In: VALENTE, J. A. **Computadores e conhecimento**: repensando a educação. Campinas: UNICAMP, 1993. p. 1-23.

VEIT, E. A. et al. **Novas tecnologias no ensino de física no nível médio**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef>>. Acesso em: 10 nov. 2003.

VEIT, E. A.; TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 87-90, jun. 2002.

ZACHARIAS, V. L. C. F. **O desenvolvimento da inteligência**. Disponível em: <<http://www.centrorefeducacional.pro.br/intelig.html>>. Acesso em: 10 jul. 2004.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – PRODUTO GERADO

Apresentamos todo o material desenvolvido. Inicialmente mostramos a primeira tela do hipertexto (em anexo no CD-ROM) para demonstrar como os conteúdos estão organizados e o texto introdutório do material hipermedia. Todos os demais tópicos estão organizados em capítulos. No material impresso algumas fontes são pequenas, estando em tamanho normal e legível no CD-ROM em anexo.

### TELA DE ABERTURA DO HIPERMÍDIA DESENVOLVIDO

**Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física**  
**Instituto de Física**  
**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

Desenvolvido por Valmir Heckler sob orientação dos professores Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Kepler de Souza Oliveira Filho

#### Ótica

- Natureza da Luz
- Fontes de Luz
- Princípios da Ótica Geométrica
- Reflexão
- Espelhos Planos
- Espelhos Curvos
- Refração da Luz
- Lentes Esféricas
- Interferência
- Difração
- Polarização
- Referências

Davidson physics



### ÓTICA NO ENSINO MÉDIO

O conhecimento básico da ótica permite explicar inúmeros fenômenos que nos rodeiam, e a responder questões que se apresentam no nosso cotidiano, como: O que é a luz? De que forma visualizamos um lago azul ou uma floresta verde? Como se forma o arco-íris? Como ocorre a formação das imagens dos objetos no olho? Como funcionam os telescópios, microscópios, câmeras fotográficas, binóculos, lupas, óculos? Também nos permite entender o papel importante que a ótica desempenha nas inovações tecnológicas como o laser, a fibra ótica, os leitores de códigos de barra e a obtenção de imagens médicas.

Este material foi desenvolvido com o objetivo de explorar as novas tecnologias de ensino no estudo de Ótica no Ensino Médio, no que tange à inclusão e à exploração de simuladores (Java Applet) e de imagens em animação geradas ou obtidas através de filmadora digital de vídeo, e textos explicativos e teóricos, formando este material interativo em CD-ROM, buscando-se assim auxiliar no processo pedagógico de construção do conhecimento acerca do assunto.

O CD-ROM poderá ser copiado integralmente para fins educacionais, sendo necessário a citação da fonte. Não é permitido fazer alterações no material sem a devida autorização do autor. Aceitam-se sugestões e contribuições no que tange a melhoria do material didático proposto. Contato pelo e-mail: [valmirheckler@setrem.com.br](mailto:valmirheckler@setrem.com.br)

**Este material foi desenvolvido sem fins comerciais, portanto, sob nenhuma hipótese poderá ser copiado para comercialização. Não é permitido copiar os simuladores Java Applets a partir desse material.**

Caso você não consiga visualizar as animações, instale os plug-ins aqui:  

----- Apoio: PROPEQ-UFRGS/CAPEs -----

Ao escrever este material nos apoiamos em diversos autores, em especial em [Gaspar v.2 e v.3](#); [Sears e Zemansky](#); [Torres](#); [Hewitt](#); [Ramalho](#). Para uma visão mais detalhada de alguns dos temas aqui apresentados sugere-se uma consulta aos textos originais destes autores bem como aos demais listados nas [referências](#).

# NATUREZA DA LUZ

## 1.1 - Natureza da luz

Apresenta-se neste capítulo uma pequena evolução histórica do conhecimento da natureza da luz. Os estudos dos fenômenos óticos e as investigações sobre as teorias da natureza da luz foram, fortemente estimuladas no início do século XVII, inicialmente pelas interpretações apresentadas por Newton e Huygens. Ao estudarem a luz, sugeriram modelos distintos para explicá-la. Na visão de Newton a luz poderia ser constituída de minúsculas partículas. Já Huygens, defendia uma teoria ondulatória, supondo que a luz era um tipo especial de onda.

No final do século XVIII e no início do século XIX, os físicos Young e Fresnel retomaram o estudo da teoria ondulatória da luz. A teoria que inicialmente havia sido proposta por Huygens ganhou novos defensores e com uma maior valorização, pois conseguia satisfatoriamente explicar os fenômenos da difração e da interferência luminosa, os quais você irá estudar mais adiante. Auxiliado pela medida da velocidade da luz, obtida experimentalmente por Fizeau e Foucault em 1849, o modelo ondulatório reafirmou-se como o mais satisfatório.

Maxwell, em (1861) reafirmou a idéia ondulatória para a luz ao considerar que ela é um tipo de energia que se propaga no espaço em campos elétricos e magnéticos em movimento. Em um trabalho posterior, Einstein propôs que a luz interagia com a matéria como "pequenos pacotes" de energia (fótons) contribuindo para a elaboração de um outro modelo, denominado onda-partícula. Você irá estudar o efeito fotoelétrico e efeito Compton ([capítulos: 1.1.1](#) e [1.1.2](#)), os quais nos fornecem provas conclusivas que a luz também possui propriedades corpusculares.

### **Você deve estar se perguntando: Afinal, a luz é onda ou partícula?**

A dualidade da natureza da luz, radiação eletromagnética, é uma realidade. No entanto, é necessário ter claro que a luz não é às vezes onda e às vezes partícula, mas sim onda e é partícula o tempo todo, manifestando um caráter ou outro em diferentes fenômenos.

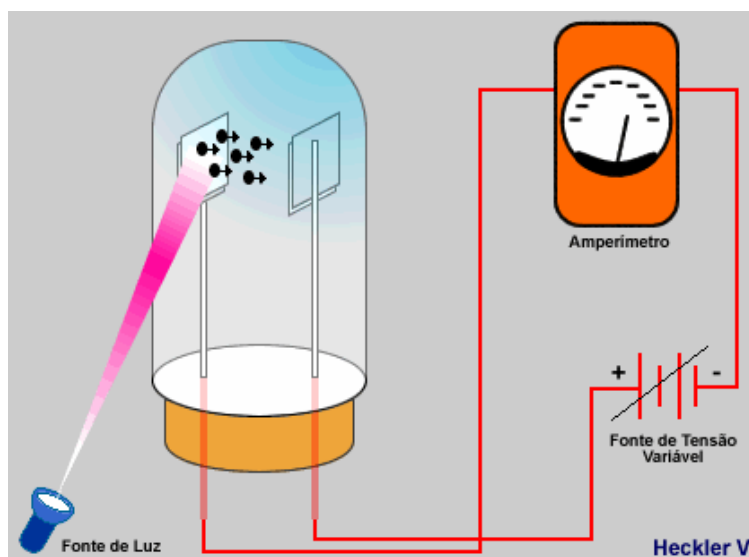
Nos próximos capítulos estudaremos os fenômenos explicados pela ótica, o que nos fornecerá uma idéia mais clara dessa dualidade.

### **1.1.1 - O Efeito Fotoelétrico**

Heinrich Hertz, entre 1886 e 1887, verificou experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas e a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz. Estudando descargas elétricas entre dois eletrodos, Hertz observou que as descargas ocorriam muito mais facilmente ao incidir radiação ultravioleta em um dos eletrodos do que quando incidia radiação de menor frequência. Ao fazer-se um estudo de tal fenômeno, notou-se que a energia da radiação incidente em um dos eletrodos era absorvida pelos elétrons do metal, fazendo com que alguns elétrons do eletrodo fossem expelidos dele, provocando a rápida ionização do ar e facilitando a formação das faíscas.

**O fenômeno ficou conhecido como efeito fotoelétrico, pois foi em função da incidência de radiação sobre a superfície do metal que aconteceu a ejeção de elétrons da mesma.**

O físico alemão Phillip Lenard, auxiliar de Hertz, prosseguiu trabalhando nas pesquisas após a morte deste. Leonard utilizou um dispositivo experimental, composto por duas placas de diferentes metais polidos inseridos em um tubo de vidro evacuado, conforme pode ser observado na animação abaixo (simulação 1.1.1), que simula o experimento do efeito fotoelétrico.



Simulação 1.1.1 - Simulando o efeito fotoelétrico com radiação ultravioleta. (Figura adaptada de [Gaspar, v.3](#))

A simulação mostra que a luz, ao incidir em uma das placas metálicas, faz liberar elétrons que são atraídos pela outra placa, ligada a determinado terminal da bateria. A corrente elétrica é registrada pelo movimento do ponteiro do amperímetro que está ligado em série no circuito.

A explicação da Física Clássica para o efeito fotoelétrico era que a radiação (exemplo: ondas luminosas), ao incidir sobre os elétrons da placa metálica, fazia com que esses passassem a oscilar com amplitudes cada vez maiores, até serem libertados da superfície do metal. Isto levava a pensar que, para uma fonte de luz fraca, deveria levar um tempo consideravelmente grande para que os elétrons pudessem receber energia suficiente para se libertarem da placa metálica. No entanto, as experiências mostravam que:

**I - A intensidade da luz emitida não influenciava no tempo de retardo entre o momento em que se emitia a radiação no metal e a ejeção dos primeiros elétrons.**

**II - O efeito fotoelétrico não poderia ser observado quando se usava luz vermelha, mas era observável com maior facilidade ao se fazer uso da luz violeta e ultravioleta no experimento.**

**III - A taxa de ejeção dos elétrons do metal era diretamente proporcional à intensidade luz emitida nele.**

**IV - A intensidade de luz não influenciava no valor da energia máxima dos elétrons libertados do metal. Mas a energia dos elétrons ejetados parecia ter uma dependência direta com a frequência da luz incidente na placa.**

De acordo com a teoria ondulatória clássica, seria esperado que:

- Ao incidirmos luz fraca sobre a superfície do metal, com algum atraso os elétrons deveriam acumular energia vibracional suficiente para se libertarem da placa;
- ao incidirmos luz forte sobre o metal, os elétrons deveriam ser ejetados quase que instantaneamente da placa.

Foi através do físico alemão Albert Einstein em 1905, que surgiu a explicação correta para o fenômeno do Efeito Fotoelétrico. Einstein afirmou que todas as radiações eletromagnéticas são formadas por minúsculos pacotes de energia, os quais chamou de corpúsculos ou quanta de luz (fótons). Isso contrariava a idéia da teoria ondulatória, segundo a qual a luz se propagava de forma contínua.

Einstein considerou que os corpúsculos são pacotes de energia. A energia (E) de cada pacote é diretamente proporcional à frequência (f) da radiação:

$$E = hf$$

onde h é a constante de Planck, cujo valor é:

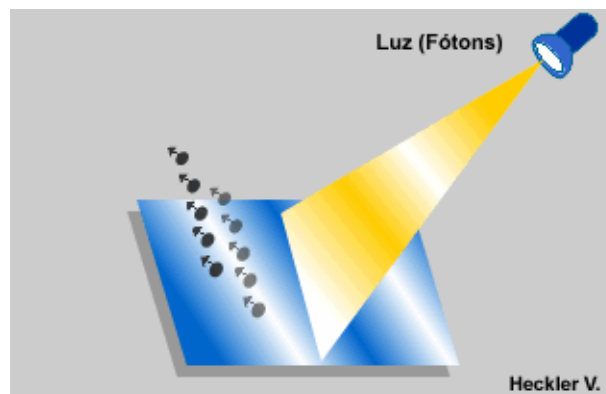
$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

Você já deve ter se perguntado: O que é necessário para que o elétron abandone determinada superfície metálica polida?

Para responder a questão, iremos considerar um elétron de uma determinada superfície metálica, recebendo radiação eletromagnética. Ao ser atingido por um fóton, o elétron receberá deste toda a sua energia (**hf**), mas, não será necessariamente ejetado, pois para isso ele precisa executar determinada quantidade de trabalho, chamada função trabalho (**f<sub>o</sub>**), que é variável em função das propriedades de cada metal. Caso o elétron receba mais energia (E) do fóton do que o valor da função trabalho do metal (**f<sub>o</sub>**), então sim acontecerá a ejeção do mesmo (simulação 1.1.2).

Para o caso em que o elétron receber mais energia do que a função trabalho dele para abandonar o metal, vale a relação:

$EC = hf - f_o$ , onde EC é a energia cinética do elétron no efeito fotoelétrico.



Simulação 1.1.2 - Simulação que demonstra fótons atingindo elétrons em um metal.

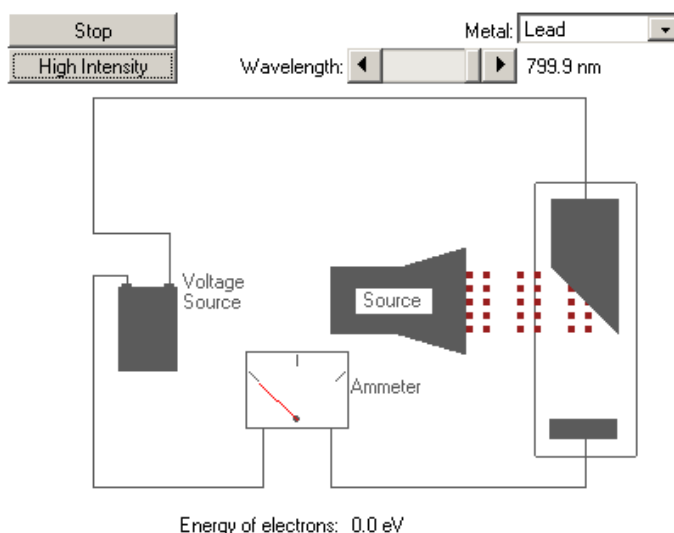


Observa-se que a quantização da energia, proposta por Planck em 1900 para explicar teoricamente a irradiação térmica, foi muito importante na explicação do efeito fotoelétrico apresentada por Einstein. O efeito fotoelétrico foi comprovado de forma experimental, pelo físico norte-americano Robert Millikan, 11 anos após ter sido proposto, auxiliando assim a mostrar que a luz realmente possui propriedades corpusculares.

**Abaixo pode-se simular o efeito fotoelétrico, aplicando-se as informações contidas no texto acima e fazer suas observações acerca do assunto.**

### Efeito Fotoelétrico

#### Efeito Fotoelétrico



Simulador 1.1.3 - Simulador Java Applet, oportunizando você a simular o efeito fotoelétrico com diferentes materiais - Applet Desenvolvido por Phillip Warner - <http://wigner.byu.edu/Photoelectric/Photoelectric.html>.

#### Como usar o simulador acima:

- Na parte superior esquerda do applet, tem o ícone *start* (começar) e que muda para a função *stop* (parar) quando a fonte está emitindo luz.
- Na parte superior direita do applet, tem o ícone onde você pode escolher o metal sobre o qual se deseja incidir a luz.
- Na parte central superior, existe o ícone *wavelength* (comprimento de onda), onde se pode escolher o comprimento de onda da luz incidente que se deseja.
- No applet, abaixo do ícone *start*, aparecem os ícones *Low intensity* (intensidade baixa) e *High intensity* (intensidade alta). Ao clicar nesses ícones, você pode variar a intensidade de luz emitida pela fonte.
- A energia dos elétrons (*Energy of electrons*) informada, refere-se ao valor de energia de ejeção dos elétrons.

**Clique no ícone *start* e observe o que acontece ao diminuir o comprimento de onda da luz incidente. Em que comprimento de onda começa a ocorrer efeito fotoelétrico (elétrons ejetados do metal)? Desconsidere o amperímetro (*Ammeter*).**

### ATIVIDADES A SEREM DESENVOLVIDAS COM AUXÍLIO DO SIMULADOR 1.1.3:

(As atividades abaixo foram adaptadas das idéias iniciais de meu colega do mestrado professor Alberto Antônio Mees e minhas, as quais compartilhamos durante as aulas da disciplina de TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA I).

1- Após estar familiarizado com o applet, organize em seu caderno a tabela 1.1.1 e complete com sim quando elétrons são arrancados do metal e não quando nenhum elétron é arrancado do metal. Selecione o metal e o comprimento de onda proposto.

**Tabela 1.1.1 - Relação do material com comprimento de onda**

Metal	(600nm)	(400nm)	(300nm)	(200nm)	(100nm)
Alumínio ( <i>Aluminum</i> )					
Cobre ( <i>Cooper</i> )					
Chumbo ( <i>Lead</i> )					
Sódio ( <i>Sodium</i> )					
Zinco ( <i>Zinc</i> )					
Lítio ( <i>Lithium</i> )					
Ferro ( <i>Iron</i> )					
Platina ( <i>Platinum</i> )					

2- Com base nos dados obtidos na tabela 1.1.1, o que você pôde concluir, quanto ao início do efeito fotoelétrico para os diferentes materiais?

3- Qual a frequência de luz incidente necessária para que ocorra ejeção de elétrons para o Chumbo? E para o Lítio?

4- Organize uma tabela, conforme as tabelas (1.1.2 e 1.1.3), para baixa e alta intensidade de luz. Observe se o efeito fotoelétrico acontece para um comprimento de onda maior ou não. Complete com sim ou não para cada comprimento de onda proposto.

**Tabela 1.1.2 - Fonte com baixa intensidade**

Metal	(600nm)	(400nm)	(300nm)	(200nm)	(100nm)
Alumínio ( <i>Aluminum</i> )					
Cobre ( <i>Cooper</i> )					
Platina ( <i>Platinum</i> )					
Sódio ( <i>Sodium</i> )					

**Tabela 1.1.3 - Fonte com alta intensidade**

Metal	(600nm)	(400nm)	(300nm)	(200nm)	(100nm)
Alumínio ( <i>Aluminum</i> )					
Cobre ( <i>Cooper</i> )					
Platina ( <i>Platinum</i> )					
Sódio ( <i>Sodium</i> )					

5- O que você observou, para os diferentes metais, ao variar a intensidade da luz:

a) em relação ao início do efeito fotoelétrico?

b) em relação à quantidade de elétrons ejetados?

### Atividades complementares:

6- Pesquisar e organizar em uma tabela a função trabalho dos seguintes metais: Sódio, Cobalto, Alumínio, Chumbo, Zinco, Ferro, Cobre, Prata e Platina.

7- Buscar explicações sobre o que é "Quanta".

8- O que é uma célula fotoelétrica?

9- Descrever com suas próprias palavras, a importância histórica do efeito fotoelétrico no entendimento do modelo corpuscular e ondulatório da luz.

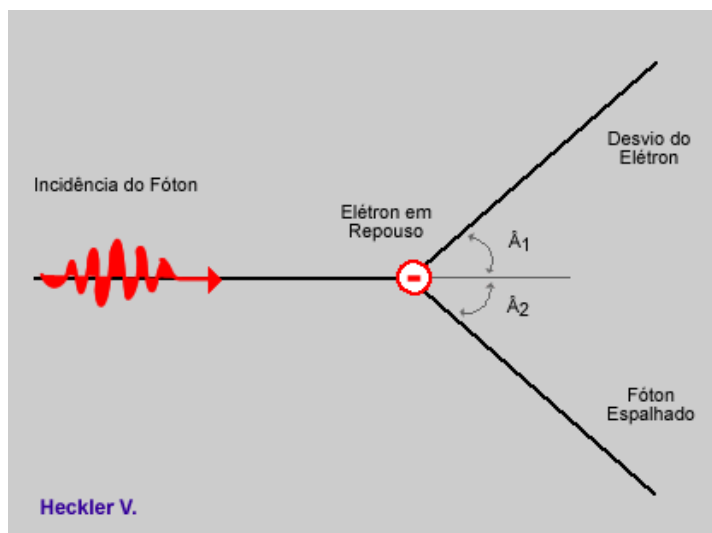
10- Descrever a importância e as aplicações tecnológicas do efeito fotoelétrico.

11- Qual a condição básica para acontecer o efeito fotoelétrico?

12- Com a luz de uma lâmpada comum (luz visível), poderíamos obter o efeito fotoelétrico para os metais listados na tabela 1.1.1?

## 1.1.2 - Efeito Compton ou Espalhamento Compton

Na simulação abaixo, mostra-se um fóton, com um certo comprimento de onda, atingindo um elétron em repouso (simulação 1.2.1). Ao atingir o elétron, o fóton transfere energia para ele, o qual sofre um deslocamento segundo um ângulo  $\hat{A}_1$ . O fóton também sofre um desvio de direção, num ângulo  $\hat{A}_2$ , tendo o seu comprimento de onda alterado.



Simulação 1.2.1 - Simulando o Efeito Compton, incidindo fóton sobre um elétron em repouso.

Ao realizar a experiência descrita acima, observa-se que o comprimento de onda do fóton espalhado ( $\lambda_f$ ) é maior (menor frequência, menor energia) do que o comprimento de onda do fóton incidente ( $\lambda_i$ ), conforme figura abaixo (figura 1.2.1). Esse efeito foi

descoberto por Arthur H. Compton em 1923, e proporcionou a comprovação final de que a luz tem propriedades corpusculares.

Classicamente, esperamos que, quando uma onda eletromagnética de certa frequência incide sobre cargas elétricas, estas cargas passem a oscilar com mesma frequência incidente, re-emitindo radiação eletromagnética de igual frequência. O experimento de Compton não pode ser explicado dessa forma, sendo melhor descrito como a colisão de duas partículas (um fóton e um elétron), conforme mostrado na simulação 1.2.1.

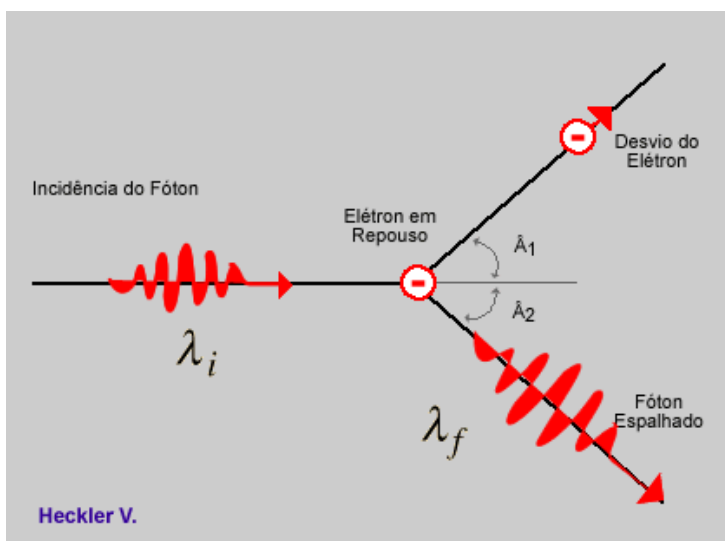


Figura 1.2.1 - Representação dos comprimentos de onda do fóton incidente e espalhado.

A equação de Compton:

$$\lambda_f - \lambda_i = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \hat{A}_2)$$

Sendo  $\frac{h}{m_e c} = \lambda_c$  o comprimento de onda Compton, e  $m_e$  a massa do elétron..

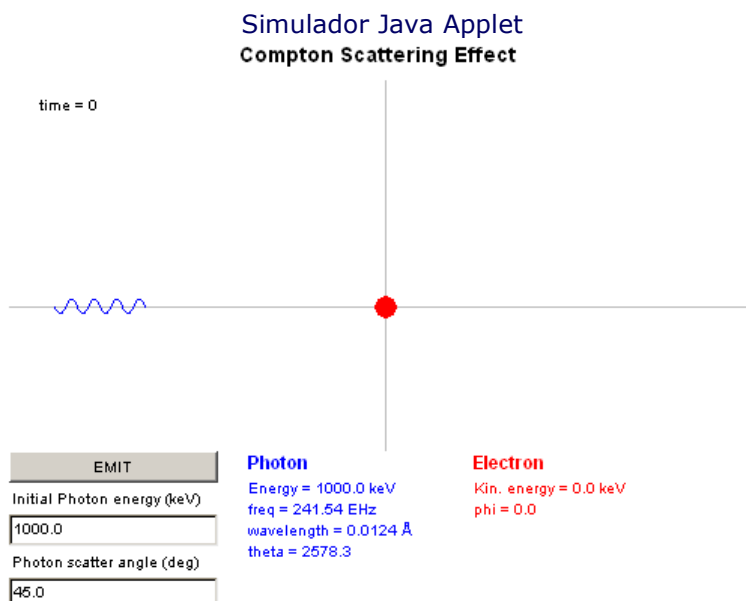
Desenvolva as seguintes atividades:

- 1) Dados  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ , massa do elétron  $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  e a velocidade da luz  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , calcular o comprimento de onda Compton.
- 2) Um fóton cujo comprimento de onda é  $= 0,2 \text{ \AA}$  se dispersa segundo um ângulo de  $90^\circ$ . Calcular o comprimento da onda do fóton dispersado.
- 3) Desenvolva as próximas atividades utilizando o simulador (1.5.2).

Algumas dicas para uso do simulador:

- No lado esquerdo da tela, você poderá inserir um valor para a energia cinética inicial do fóton (Initial Photon Energy), indicar ângulo de dispersão para o fóton (Photon scatter angle) e fazer o fóton incidir sobre o elétron em repouso, clicando na tecla Emit o fóton (emitir). - Em azul para o fóton, aparecem os valores da: Energia, frequência, comprimento de onda e ângulo teta.

- Em vermelho para o elétron, aparecem os valores da Energia Cinética e o ângulo que o elétron é desviado.



Simulador 1.2.2 - Simulador que permite você simular o efeito compton - Applet Desenvolvido por Jan Humble - [http://www.sics.se/~humble/phys\\_sim/](http://www.sics.se/~humble/phys_sim/)

Faça alterações na Energia do Fóton e no ângulo de dispersão do mesmo no java applet e responda as seguintes perguntas:

- Observe as características do fóton antes de colidir com o elétron (comprimento de onda, frequência, energia cinética do elétron e Energia do Fóton).
- Observe as mesmas características do fóton após ele colidir com o elétron.
- O que acontece com o elétron após a colisão do fóton?
- A onda incidente (que é a onda associada ao fóton) muda seu comprimento de onda ao colidir com o elétron. Essa modificação é sempre idêntica ou é variável? Explique.

*(Algumas das atividades acima foram adaptadas das idéias iniciais de meu colega do mestrado professor Alberto Antônio Mees e minhas, as quais compartilhamos durante as aulas da disciplina de TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA I).*

## 1.2 - Luz e Radiação Eletromagnética

O médico inglês Thomas Young, em 1801, através do famoso experimento de interferência ([Experimento de Young, capítulo 8.2](#)), proporcionou provas concretas de que a luz apresentava comportamento de onda, abrindo caminhos para o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz. No entanto, naquela época, não se sabia em que tipo de onda a luz se enquadrava.

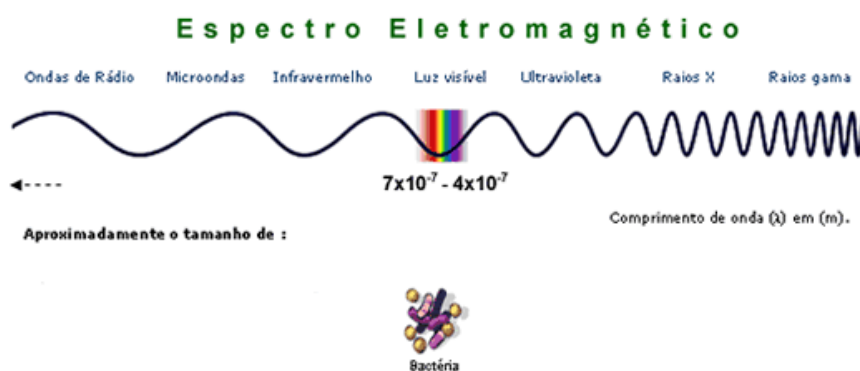
Maxwell, 63 anos após o experimento de Young, obteve o valor da velocidade da luz ( $c \equiv 300\,000\text{ km/s}$ ), através de suas próprias equações de indução eletromagnética, descobrindo também que a radiação eletromagnética de qualquer frequência se propaga com a mesma velocidade da luz. Embora com certa relutância, os cientistas da época aceitaram esse fato como prova de que a luz é um tipo de radiação eletromagnética, e que, ela está concentrada em determinada faixa de frequência de oscilação.

Em 1887, oito anos após a morte de Maxwell, o físico alemão Heinrich Hertz, estudando os trabalhos de Maxwell, conseguiu gerar e detectar experimentalmente as primeiras ondas eletromagnéticas. Hertz provou que estas ondas viajam no ar, ao captá-las experimentalmente a uma distância do seu equipamento emissor. Conseguiu também observar, tal qual previra Maxwell, que estas ondas viajam à velocidade da luz e que as mesmas apresentam características ondulatórias, como reflexão e difração.

A partir das descobertas de Hertz, surgiram grandes avanços tecnológicos, pois desde os primeiros telégrafos sem fio até os mais modernos sistemas digitais de comunicação envolvem radiações eletromagnéticas.

O espectro eletromagnético é composto pelos diversos tipos de ondas eletromagnéticas, que podemos ordenar de acordo com sua frequência, ou seu comprimento de onda, em ondas de rádio, microondas, raios infravermelhos, luz visível, raios ultravioletas, raios X e raios gama.

A simulação abaixo (simulação 1.3.1), mostra os principais tipos de ondas eletromagnéticas conhecidas. Você pode ver o comprimento de onda em cada ponto passando o mouse pelo espectro.



Simulação 1.3.1 - Representação dos principais tipos de ondas eletromagnéticas - Figura adaptada do site: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/semana1.htm>

Todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a mesma velocidade,  $c \equiv 300000 \text{ km/s}$  (velocidade da luz). Em decorrência deste fato, sabendo-se a frequência de uma onda eletromagnética ( $f$ ), no vácuo, pode-se determinar o comprimento de onda ( $\lambda$ ) desta radiação, através da seguinte equação:  $\lambda = c/f$ .

Comprimentos de onda característicos de cada faixa de radiação: Raios-X (faixa de 0,1 até 10 Å, lembrando que  $1 \text{ Å} = 10^{-6} \text{ m}$ ), raios ultravioletas (faixa de 1 até 400  $\mu\text{m}$ ), luz visível (faixa de 400 até 700  $\mu\text{m}$ ), raios infravermelhas (faixa de 700  $\mu\text{m}$  até 1 mm) e ondas de rádio ( faixa de 20 cm até 100000 m). O espectro de luz visível compreende diversas cores, desde o violeta até o vermelho, em função do comprimento de onda ou, de forma equivalente, em função da frequência. A faixa de frequências da luz visível fica entre  $4,3 \times 10^{14} \text{ Hz}$  e  $7,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ . Em geral, corpos luminosos emitem simultaneamente luzes de várias frequências (várias cores). Quando a luz tem uma única frequência (uma única cor), é chamada de monocromática.

### **Questões para refletir e serem respondidas por você:**

- 1- Considerando que a luz é uma onda eletromagnética, existe diferença da velocidade de propagação da luz verde em relação à vermelha?
- 2- Qual tem comprimento de onda maior: um raio gama ou uma onda de rádio? Demonstre fazendo o cálculo.
- 3- Supondo que determinada emissora de rádio FM opera em 105 MHz. Qual é o comprimento de onda dessa transmissão?
- 4- Levando em consideração o espectro eletromagnético, qual é a luz de maior frequência? E a de menor frequência?

## **FONTES DE LUZ**

### **2.1 - Fontes de Luz**

Luz é o que determina a sensação visual, quando atinge nossos olhos. Consegue-se visualizar os diversos objetos que nos rodeiam por que eles emitem ou refletem luz. Já estudamos anteriormente que a luz é uma onda eletromagnética que ocupa uma determinada faixa do espectro eletromagnético. Em nosso estudo, iremos fazer uma análise sobre algumas fontes de luz existentes. O Sol (figura 2.1.1) é uma das principais fontes de luz que nós recebemos diariamente, mas existem outras fontes que merecem nosso estudo, como: a radiação térmica dos corpos, a lâmpada fluorescente e o laser.



Figura 2.1.1 - O sol emite luz própria, oriunda das reações termonucleares.

Todos os corpos emitem radiação térmica; um corpo muito quente pode tornar-se brilhante (emitindo luz visível) devido ao intenso movimento térmico de suas partículas. Cita-se como exemplos a chama de uma vela, o carvão que usamos para fazer o churrasco, a resistência elétrica do ferro de passar roupas, o filamento de uma lâmpada incandescente que aparece na figura abaixo (figura 2.1.2).



Figura 2.1.2- Filamento de uma lâmpada comum emitido luz pelo processo de radiação térmica.

A radiação térmica é a radiação cujas características dependem unicamente da temperatura do corpo emissor. À temperatura ambiente, em torno de  $25^{\circ}\text{C}$ , quase toda a energia emitida pelo corpo é na forma de radiação infra-vermelha ( $\lambda$  de  $0,75 - 1000 \times 10^{-6} \text{ m}$ ), com comprimento de onda muito superior ao da luz visível ( $\lambda$  de  $0,38 - 0,78 \times 10^{-6} \text{ m}$ ), portanto, não detectáveis pelo nosso olho. À medida que a temperatura de um corpo vai aumentando, o comprimento de onda da radiação emitida vai diminuindo; a  $800^{\circ}\text{C}$ , um corpo emite luz visível suficiente para ser "auto-luminoso", apresentando a cor "vermelho-quente", embora a maior parte da energia emitida continue a pertencer à região do infra-vermelho. Um exemplo interessante é que vários animais enxergam uma



parte dos raios infravermelhos. Isso lhes permite caçar durante a noite, já que o corpo do animal a ser caçado emite raios infravermelhos conforme a sua temperatura. ( $\lambda_{\text{máx}} \cdot T = \text{cte}$ , lei de Wien)

Uma outra fonte de luz muito utilizada é a lâmpada fluorescente que está presente na grande maioria das iluminações públicas de nossas ruas e das nas nossas casas. Além de ser mais eficiente do que as lâmpadas incandescentes a origem da luz é diferenciada. Observa-se a lâmpada fluorescente comum na figura 2.1.3, a qual é composta de um tubo fechado, concentrando em seu interior vapor de mercúrio a baixa pressão. Em suas bordas encontram-se eletrodos que fazem os elétrons se agitarem muito rapidamente no interior do tubo, excitando as partículas do vapor de mercúrio, que emitem fótons ultravioleta.



Figura 2.1.3- Lâmpada Fluorescente comum emitido luz pelo processo de fluorescência.

Os tubos são revestidos internamente com uma camada fina de fósforo (em pó) conhecida como camada fosforescente que ao ser atingida pelos fótons ultravioletas libera uma quantidade muito grande de fótons de diferentes frequências mais baixas, as quais combinadas formam a luz branca.

Uma das fontes de luz que está em seu crescente uso em diferentes áreas como: medicina, indústria, eletrônica, comunicações e comércio é o laser. A palavra laser é proveniente do significado em inglês das iniciais da seguinte expressão: *light amplification by stimulated emission of radiation* ("amplificação da luz pela emissão estimulada da radiação") e a origem da luz desta fonte é explicada pelos conceitos de amplificação da luz e emissão estimulada que não são abordados em nosso texto. Observa-se na figura 2.1.4 que com o uso de determinada fonte laser obteve-se um feixe de luz estreito, que perde pouca intensidade ao longo do seu percurso, o que está associado ao fato dessa fonte emitir fótons na mesma frequência e fase.

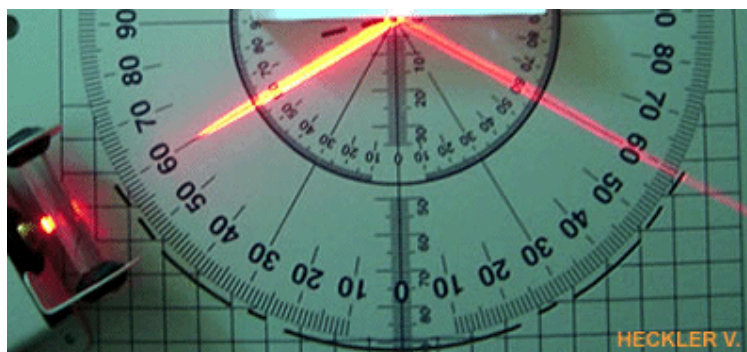


Figura 2.1.4- Raio de luz laser um feixe de luz coerente.

### Para você refletir e responder:

I) Ao vermos cenas de Guerra, observa-se que os soldados conseguem "ver" os corpos das outras pessoas no escuro, com equipamentos apropriados (binóculos, câmaras fotográficas e de vídeo). Que tipo de radiação está chegando no equipamento que o soldado usa? Explique por que o soldado não consegue visualizar a olho nu outro soldado em um local totalmente escuro.

## 2.2 - Cores de Corpos Luminosos

No item anterior ([2.1 fontes de luz](#)) discutiu-se sobre os corpos que emitem luz, como por exemplo o Sol, a vela, o filamento da lâmpada incandescente, metais aquecidos, o laser, a lâmpada fluorescente. Todas estas fontes emitem radiações, algumas delas dentro da faixa de comprimentos de onda da luz visível.

Para os casos das fontes luminosas sólidas, como por exemplos os metais aquecidos, a lâmpada incandescente, a cor está diretamente associada à temperatura. A emissão da luz acontece por meio da radiação térmica. Representa-se na figura 2.2.1 um metal em três temperaturas diferentes, observa-se que a luz emitida tem tom avermelhado quando o metal está aproximadamente em 900 K, sendo que nesta temperatura a maior quantidade de radiação emitida pelo objeto está na faixa do infravermelho. Quando o aquecimento do metal chegar em torno de 1500 K a cor predominante é o amarelo, a cor branca é emitida pelo metal, quando a temperatura atingir aproximadamente 1800 K.

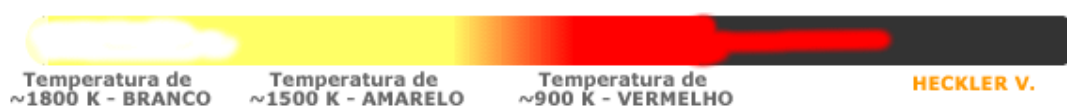


Figura 2.2.1 - Representação das diferentes cores obtidas com o aquecimento de determinado metal.

Existem muitos corpos que, mesmo não sendo sólidos, emitem termicamente, por serem muito densos. É o caso do sol e das outras estrelas. Nesses astros também a sua cor está relacionada à temperatura de sua superfície. Por exemplo, o Sol é amarelo porque sua temperatura superficial é em torno de 6000 graus, uma estrela com temperatura superficial de 20000 graus é azulada.

Corpos aquecidos que não são sólidos nem muito densos não emitem termicamente, o que significa que sua cor não está associada à sua temperatura. É o caso de cores emitidas pelas lâmpadas de neon e as diferentes cores que enxergamos em diversas chamas, emissões de luz essas que acontecem em função do processo chamado excitação e relaxação, que ocorre em função das transições eletrônicas existentes dentro dos átomos que emitem energia radiante. Portanto, a cor emitida (emissão de luz) por estes corpos, depende de quais substâncias que o compõem, ou seja, enxergamos diferentes cores por causa do processo diferenciado de excitação que existe em cada átomo.

### 2.2.1 - Cores e espectros

Uma das melhores maneiras de estudar a luz emitida pelas fontes luminosas é utilizando um aparelho, chamado espectroscópio, que decompõem a luz em diferentes comprimentos de onda, formando um espectro. Os espectros podem ser contínuos (como o espectro da luz solar), ou de linhas, como o espectro de uma lâmpada fluorescente.

Representa-se na figura 2.2.2, o funcionamento básico de um espectroscópio: a luz entra por uma fenda e passa por um prisma (ou rede de difração), formando um espectro, o qual é projetado em um detector (no caso uma placa fotográfica). Como a fonte de luz, nesse caso, é uma lâmpada fluorescente, o espectro formado é um espectro de linhas brilhantes, desenhos coloridos que são as imagens da fenda em diferentes comprimentos de onda, característicos do elemento de que é feita a lâmpada. O espectro do vapor de mercúrio apresenta linhas brilhantes no amarelo, no verde, no azul e no violeta.

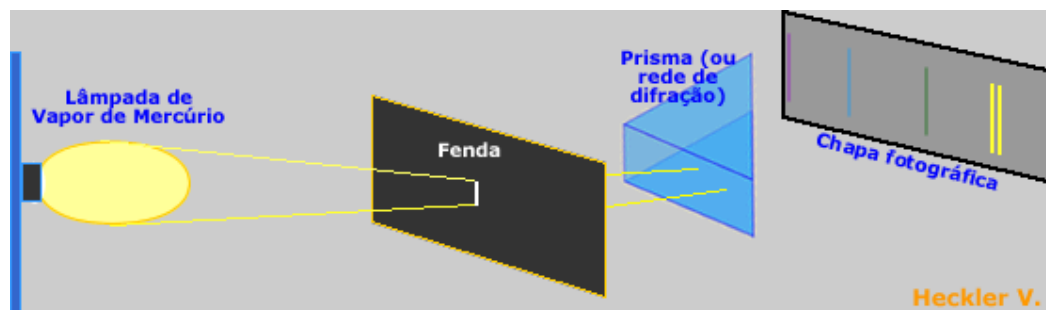


Figura 2.2.2 - Representação de um aparelho para medir o espectro de uma lâmpada de vapor de mercúrio.

Com o uso da espectroscopia obtêm-se as linhas espectrais características de diferentes fontes luminosas, permitindo fazer a sua análise química. Esta técnica permite, por exemplo, indicar quais elementos químicos que estão presentes na superfície de uma determinada estrela.

A luz solar (luz branca) que chega até nós, também é composta de diferentes cores, como foi mostrado por Newton em 1665. Ao passar por um prisma, a luz branca se decompõe em um arco-íris com todas as cores do espectro visível, desde o violeta até o vermelho, sem espaços entre elas (figura 2.2.3). Isso constitui um espectro contínuo.

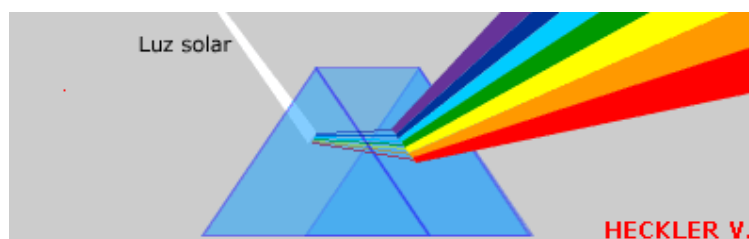


Figura 2.2.3 - Representação das cores do espectro da luz solar, obtidas com um prisma.

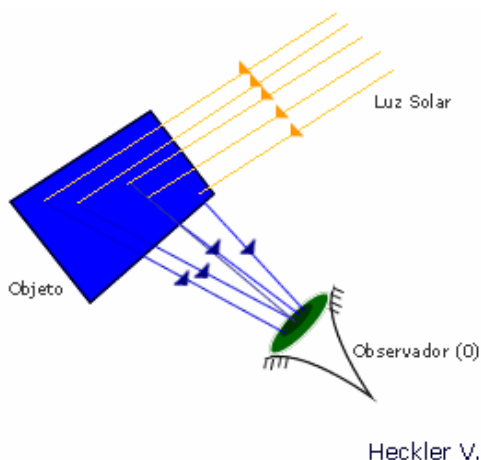
## 2.3 - A cor de um corpo iluminado

Discutiu-se até aqui que os corpos emitem algum tipo de radiação, no entanto, precisa-se considerar que a grande maioria dos corpos que enxergamos estão emitindo radiação não visível (radiação infravermelha), nestes casos os enxergamos por serem corpos iluminados por alguma fonte luminosa, acontecendo a reflexão de parte da luz incidente, que é a responsável em formar a cor do objeto.

Ao se analisar os diferentes materiais que nos cercam, percebe-se que mesmo estando iluminados pela mesma luz apresentam cores diferentes, olhe agora mesmo para os objetos que estão a sua volta, e verá que alguns se apresentam com cor: verde, cinza, azul, vermelho,....É que cada objeto ou material é composto por diferentes átomos e

moléculas que possuem sua frequência natural de oscilação, a qual é responsável em absorver ou refletir a radiação luminosa incidente.

Ao incidir-se a luz emitida pelo sol (luz policromática branca), composta por infinitas cores, sobre uma superfície, o observador observará a cor do objeto. Se o objeto aparecer azul, é porque o objeto reflete difusamente a componente azul da luz que o ilumina, absorvendo as demais componentes, conforme simulação abaixo (simulação 2.3.1). Quando o objeto estiver em um ambiente não iluminado, como não emite radiação visível, apresenta-se como um corpo negro.



Simulação 2.3.1 - Simulando a cor de um corpo dependente das cores das luzes que ele reflete difusamente.

Vamos parar um pouco, para pensar nas influências que as cores exercem em nossa vida. Neste momento olhe a sua volta, verá que somos influenciados pelas cores nas publicidades, nas decorações dos ambientes onde vivemos, na escolha das roupas que vestimos, na pintura de nossas casas, parecendo então que o ser humano é fortemente influenciado pelas cores.

### **Resolva a questão abaixo:**

1- Explique como é possível vermos as diferentes cores dos objetos, usando conceitos de reflexão.

### **Questões para serem pesquisadas:**

2- O que acontece quando misturamos três luzes coloridas, como: as luzes vermelha, verde e azul?

3- Considere que três corpos, quando expostos à luz solar apresentam-se um na cor azul, outro na branca e outro na vermelha. Imagine que cada um desses corpos seja levado para um ambiente cuja iluminação é feita com luz monocromática vermelha. Determine de que cor o observador verá os diferentes corpos e explique como isso acontece.

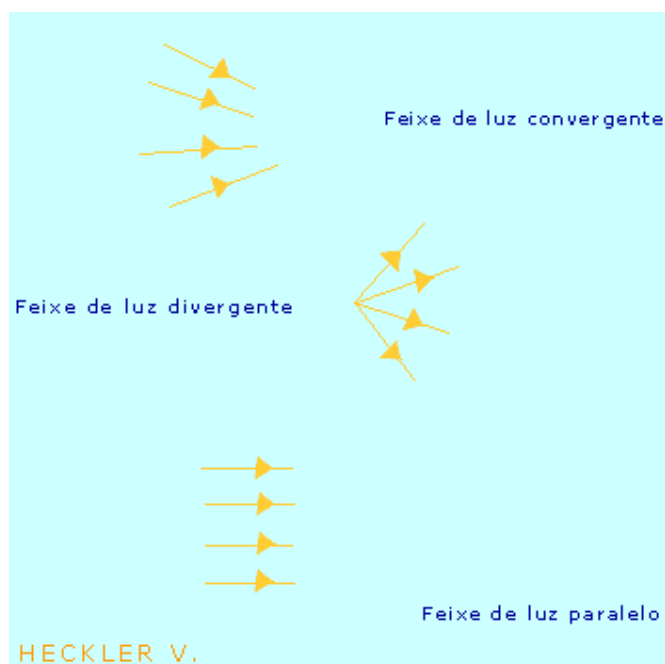
4- Você está sendo desafiado a responder sobre que cores se apresentam o retângulo, o losango e o círculo da bandeira brasileira, quando iluminada com luz monocromática azul, em ambiente escuro.

## PRINCÍPIOS DA ÓTICA GEOMÉTRICA

### 3.1 - Feixes e Raios de Luz

Nesta parte de seu estudo, introduz-se a noção de raios de luz e princípios fundamentais da ótica geométrica. Os fenômenos estudados em ótica geométrica podem ser descritos considerando-se as fontes luminosas como simples raios luminosos. Para efeitos de nosso estudo consideramos que, do ponto de vista da teoria corpuscular, o raio de luz representa a trajetória retilínea percorrida pelo corpúsculo de luz e, no caso da teoria ondulatória, este raio de luz indica o sentido imaginário de propagação da onda.

Chamamos de feixe de luz ou pincel de luz, a um conjunto de raios de luz, conforme pode ser visto na simulação abaixo (simulação 3.1.1).



Simulação 3.1.1 - Simulação mostra as diferentes classificações para o feixe de luz: convergente, divergente e paralelo.

**Portanto, por definição usaremos os raios de luz para representar, graficamente, a direção e o sentido de propagação de luz, conforme exemplo que se observa na simulação abaixo (simulação 3.1.2).**



Simulação 3.1.2 - A simulação acima é uma representação gráfica da propagação da luz, emitida pela chama de vela, utilizando-se a noção de raio de luz.

Quando a luz atravessa meios materiais transparentes e óticamente homogêneos, ela obedece a três princípios da ótica geométrica:

### 3.1.1 - Princípio da propagação retilínea da luz

### 3.1.2 - Princípio da reversibilidade na trajetória da luz

### 3.1.3 - Princípio da independência dos raios de luz

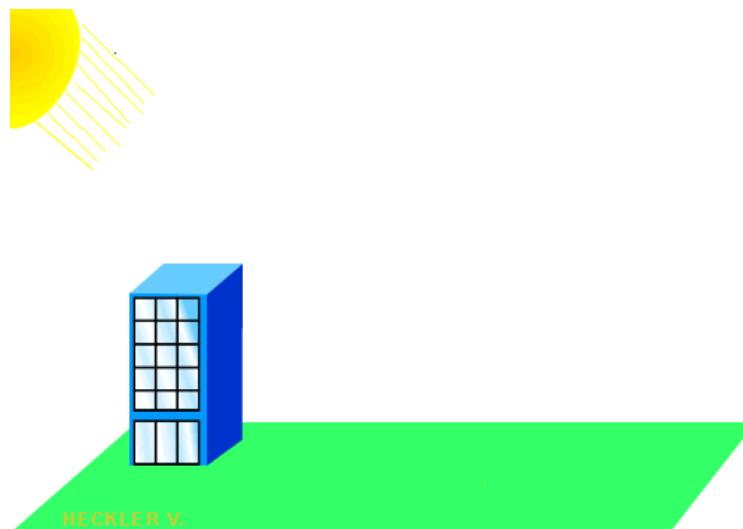
#### 3.1.1 - Princípio da propagação retilínea da luz

Meios materiais óticamente homogêneos são aqueles que, em qualquer ponto do meio, apresentam a mesma composição química, a mesma densidade e a mesma temperatura. Por exemplo, uma porção de água pura, dentro de um determinado recipiente constitui um meio óticamente homogêneo, ou seja, independente se está na parte superior do meio ou inferior. Para estes tipos de materiais, ou meios, afirma-se que **"A luz sempre se propaga em linha reta"**.

Um exemplo facilmente observado e que corrobora a propagação retilínea da luz é a sombra projetada por um corpo opaco, como um prédio, conforme simulação abaixo (simulação 3.1.3).

#### Determinando a altura de um prédio de forma experimental

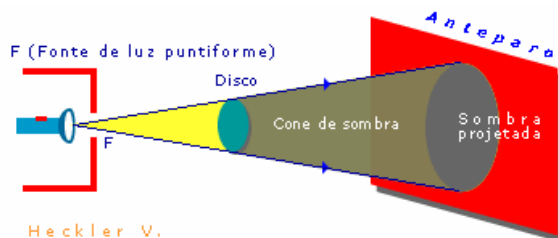
Levando em consideração que num certo dia de sol, em torno das 10h, numa região onde o solo é horizontal, mediu-se a distância ( $S$ ) do limite extremo da sombra de um prédio até a base do mesmo. Em seguida, com auxílio de um poste de madeira, colocado próximo ao prédio, mediu-se a altura ( $h$ ) do mesmo e a sombra ( $s$ ) que ele projetava no solo, conforme simulação abaixo:



Simulação 3.1.3 - Propagação retilínea da luz e a formação da sombra

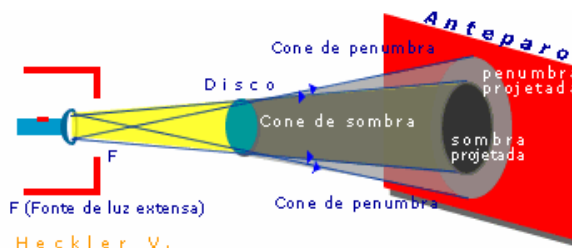
**A partir do conhecimento sobre os comprimentos  $S$  e  $s$  das sombras do prédio e do poste, altura ( $h$ ) do poste de madeira, e aplicando o conhecimento da semelhança de triângulos, você deverá determinar a altura  $H$  do prédio.** Experimento adaptado do livro: [TORRES, C. M. A. et al. Física: Ciência e tecnologia.](#) São Paulo: Moderna, 2001.

Outro exemplo interessante é o da formação de sombra e penumbra, explicada a partir do Princípio da Propagação Retilínea da luz.



Simulação 3.1.4 - Simulação de sombra e penumbra com fonte de luz puntiforme

Ao inserirmos um disco opaco entre a fonte de luz puntiforme (F) e o anteparo, conforme simulação acima (simulação 3.1.4), verifica-se que os raios de luz tangenciam o disco, formando uma região não iluminada, entre o disco e o anteparo, denominada **cone de sombra**. E no anteparo, em função da não iluminação pela fonte, forma-se a região de **sombra projetada**.

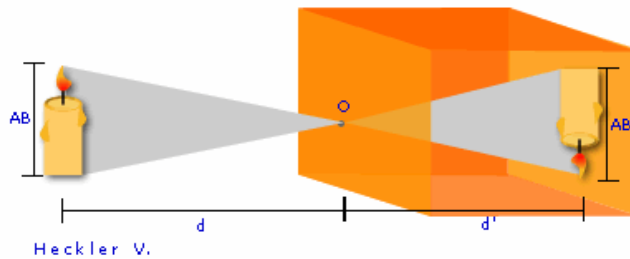


Simulação 3.1.5 - Simulação de sombra e penumbra com fonte de luz extensa

Para o caso em que se usa uma fonte de luz extensa, conforme o da simulação acima (simulação 3.1.5), identifica-se o surgimento de duas novas regiões: o cone de penumbra e a penumbra projetada, pois são parcialmente iluminados pela fonte de luz extensa, casos não possibilitados por uma fonte de luz puntiforme.

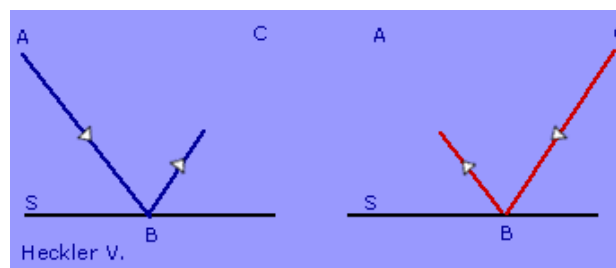
O princípio da propagação retilínea da luz também se aplica à explicação do funcionamento da câmara escura de orifício, a qual basicamente é uma caixa revestida internamente com material opaco, com um pequeno furo (orifício) em um dos lados da câmara, para penetração da luz. Observa-se na simulação abaixo (simulação 3.1.6), que a luz emitida pelo objeto ao passar pelo orifício formará uma imagem invertida no anteparo da caixa. A semelhança, entre os triângulos ABO e AB'O, permite obter uma relação simples entre a distância (d) do objeto ao orifício (O), a altura do objeto (AB), a profundidade da câmara (d') e a altura da imagem (AB'):

$$\frac{AB'}{AB} = \frac{d'}{d}$$



Simulação 3.1.6 - Simulando objeto luminoso aparecendo invertido no anteparo fosco da câmera escura.

### 3.1.2 - Princípio da reversibilidade na trajetória da luz



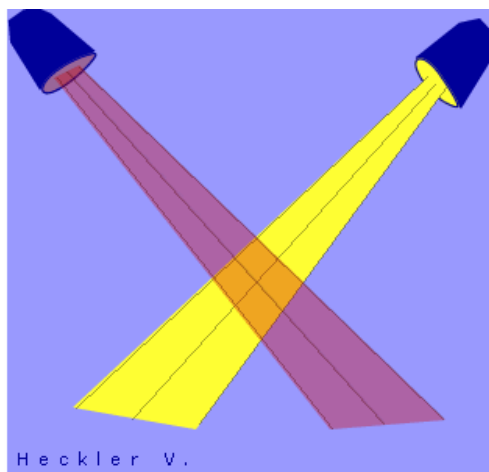
Simulação 3.1.7 - Simulação que demonstra que a trajetória da luz não depende do seu sentido.

Na simulação acima (simulação 3.1.7), o raio de luz representado em azul saiu de A, reflete no espelho S (ao bater no ponto B) e chega até o ponto C. O princípio da reversibilidade garante que se ele tivesse saído de C, neste caso representado pelo raio vermelho e chegado no ponto B do espelho S, com certeza irá passar pelo ponto A. Portanto, observa-se que caminho de ida do raio de luz será igual ao caminho de volta do referido raio, o que garante que a **"A trajetória do raio de luz independe do sentido de sua propagação"**.

Uma das aplicações do princípio da reversibilidade na trajetória da luz verifica-se quando um motorista observa o rosto de uma pessoa sentado no banco traseiro, pelo retrovisor de um carro, a pessoa também consegue visualizar o rosto do motorista.

### 3.2.3 - Princípio da independência dos raios (ou pincéis) de luz



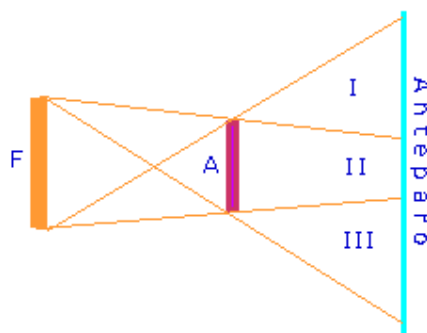


Simulação 3.1.8 - Simulando dois raios de luz independentes entre si.

Na simulação acima (simulação 3.1.8), observa-se dois pincéis de luz que se cruzam, um roxo e outro amarelo. Nota-se que depois do encontro o pincel roxo continua roxo e o pincel amarelo continua amarelo, e que, além disso, um não desvia o outro. Este fato é uma aplicação do terceiro princípio da ótica geométrica, onde se afirma que: **"Que os raios de luz são independentes entre si, ambos se cruzam, conservando suas características iniciais"**.

**Nas questões abaixo aplique os princípios da Ótica Geométrica:**

1- a) Na figura abaixo, F é uma fonte de luz extensa e A um objeto opaco. Determine para I, II e III, se nestas regiões a formação é de sombra ou penumbra.



b) Observe a figura acima e considere, apenas que a fonte de luz extensa foi substituída por uma fonte de luz puntiforme. Faça uma representação gráfica da propagação dos raios de luz e determine se existem regiões com formação de sombra e ou penumbra.

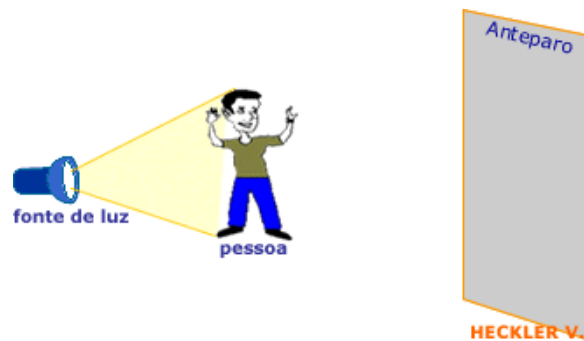
2- Um motorista de táxi olha pelo retrovisor interno e vê o seu cliente (passageiro) no banco traseiro. Se o cliente olhar para o mesmo espelho verá o motorista. Explique por que isto é possível, fazendo a representação dos supostos raios luminosos envolvidos.

3- Sabendo-se que um prédio de 60 m produz uma sombra de 5 m. E que no mesmo instante, um muro localizado próximo ao prédio, produz uma sombra de 0,50 m. Aplicando o princípio da propagação retilínea da luz e das semelhanças de triângulos existentes, determine a altura do muro.

4- Por que a câmara escura de orifício produz imagens de cabeça para baixo? Explique.

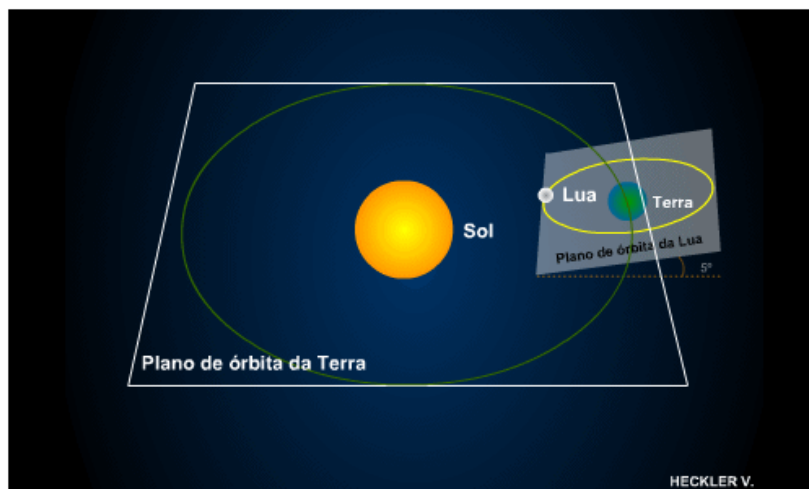
5- Sabendo-se que uma câmara escura de orifício apresenta comprimento de 60 cm, e que a partir de um poste de altura 5 m obteve-se, no anteparo, uma imagem de altura 20 cm. Determine a distância do poste até a câmara.

6- Explique o que se forma no anteparo, na figura abaixo, onde se têm uma fonte de luz, e uma pessoa parada na frente do anteparo. (aplique os conceitos de ótica geométrica)



### 3.2 - Eclipses do Sol e da Lua

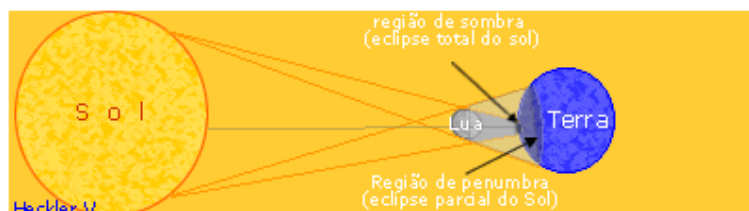
Tanto os eclipses solares como os lunares podem ser explicados pelo princípio de propagação retilínea da luz, estudado na ótica geométrica. A Terra e a Lua projetam sombras quando a luz solar incide nelas, e quando a trajetória de um desses corpos atravessa a sombra projetada pelo outro, ocorre um eclipse. Sabe-se que o plano da órbita da Terra em torno do Sol e o plano da órbita da Lua em torno da Terra não são coincidentes, pois o ângulo entre esses dois planos é de aproximadamente  $5^\circ$ , conforme pode ser observado na simulação abaixo (simulação 3.2.1). Devido a essa inclinação o alinhamento dos astros não ocorre todos os meses, mas em apenas certas épocas do ano; nessas ocasiões, acontecerão os eclipses.



Simulação 3.2.1 - Simulação do movimento da Terra em torno do Sol e da Lua em torno da Terra \*

\* As dimensões dos astros e das órbitas usados no simulador estão exageradamente desproporcionais, servindo apenas para facilitar o entendimento sobre como ocorre o alinhamento entre os astros.

Como as órbitas da Lua em torno da Terra e da Terra em torno do Sol não pertencem ao mesmo plano, os eclipses ocorrem somente quando a órbita da Lua intercepta o plano da órbita da Terra, estando o Sol, a Lua e a Terra alinhados.



Simulação 3.2.2 - Simulando o eclipse solar, quando o Sol, a Lua e a Terra ficam alinhadas. (Não está em escala)

Observa-se na simulação acima (simulação 3.2.2), que quando a Lua se interpõe entre o Sol e a Terra, ocorre o eclipse do Sol. Como a Lua é muito menor do que a Terra, o eclipse só pode ser visto da Terra numa estreita região atingida pela sombra da Lua, e em outra faixa maior o eclipse ocorre parcialmente, na região de penumbra da Lua.



Simulação 2.2.3 - Simulando o eclipse lunar, quando o Sol, a Terra e a Lua ficam alinhados. (Não está em escala)

Na simulação acima (simulação 3.2.3), observa-se a formação do eclipse lunar, quando a Terra fica entre o Sol e a Lua, o qual pode ser visto por um observador de diferentes pontos da Terra, desde que estes estejam apontando para a Lua.

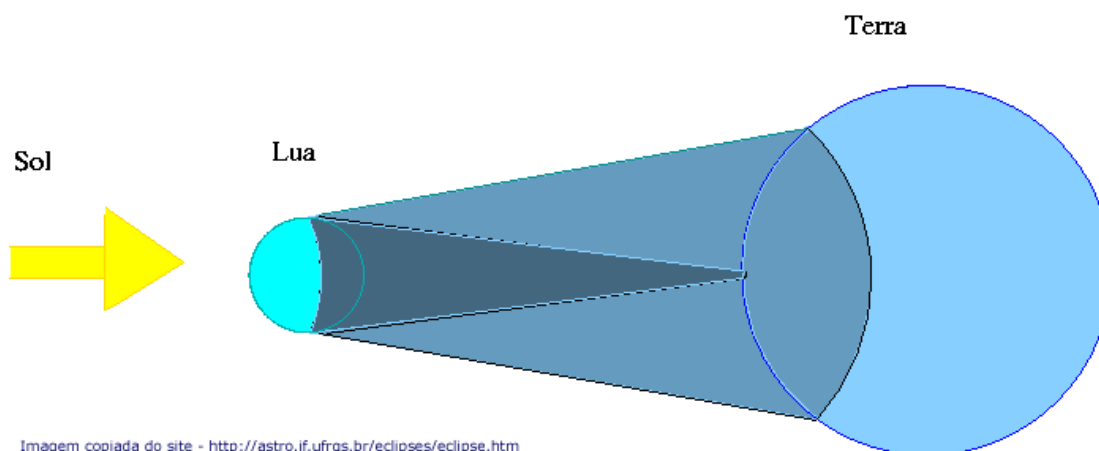


Imagem copiada do site - <http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/eclipse.htm>

Figura 3.2.1 - Imagem que mostra a região do eclipse total e parcial. (Não está em escala)

Na figura acima (figura 3.2.1), mostra-se durante um eclipse solar, a projeção da sombra da Lua sobre a Terra, a qual tem sempre menos que 270 km de largura. Como a sombra se move a pelo menos 34 km/min para Leste, devido à órbita da Lua em torno da Terra, o máximo de um eclipse dura no máximo 7 1/2 minutos. Portanto um eclipse solar total só é visível, se o clima permitir, em uma estreita faixa sobre a Terra, chamada de caminho do eclipse. Em uma região de aproximadamente 3000 km de cada lado do caminho do eclipse, ocorre um eclipse parcial.

## **Resolva as questões abaixo utilizando conceitos de Eclipse de Sol e Lua**

1- Considerando que você está na Lua, e presencia um eclipse do Sol. Esquematize a posição dos astros Sol, Terra e Lua para este caso.

2- Explique por que o tempo de duração de um eclipse solar é pequeno.

3- "O último eclipse total do sol neste século para o hemisfério sul aconteceu na manhã de 3 de novembro de 1994. Faltavam 15 minutos para as 10 h, na cidade de Foz do Iguaçu, no Paraná. Em qualquer dia normal, o sol da primavera já estaria brilhando bem acima do horizonte, mas esse não foi um dia normal (...) Durante o eclipse, a gigantesca sombra, com 200 km de diâmetro progrediu a 3000 km por hora do Oceano Pacífico para a América do Sul. Entrou no Brasil por Foz do Iguaçu e saiu para o Oceano Atlântico, sobre a divisa dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul". (Revista Superinteressante. Ano 8, nº 10, Outubro, 1994, p. 46)

Em relação ao fenômeno físico descrito no texto, julgue as afirmações como verdadeiras ou falsas.

( ) A Lua se coloca entre o Sol e a Terra, impedindo que a luz atinja uma parte da superfície terrestre.

( ) A Terra se coloca entre a Lua e o Sol, projetando sua sombra na Lua.

( ) No trecho onde passa a sombra, os observadores podem ver o eclipse parcial do Sol.

( ) O tempo estimado de duração do eclipse é de quatro minutos.

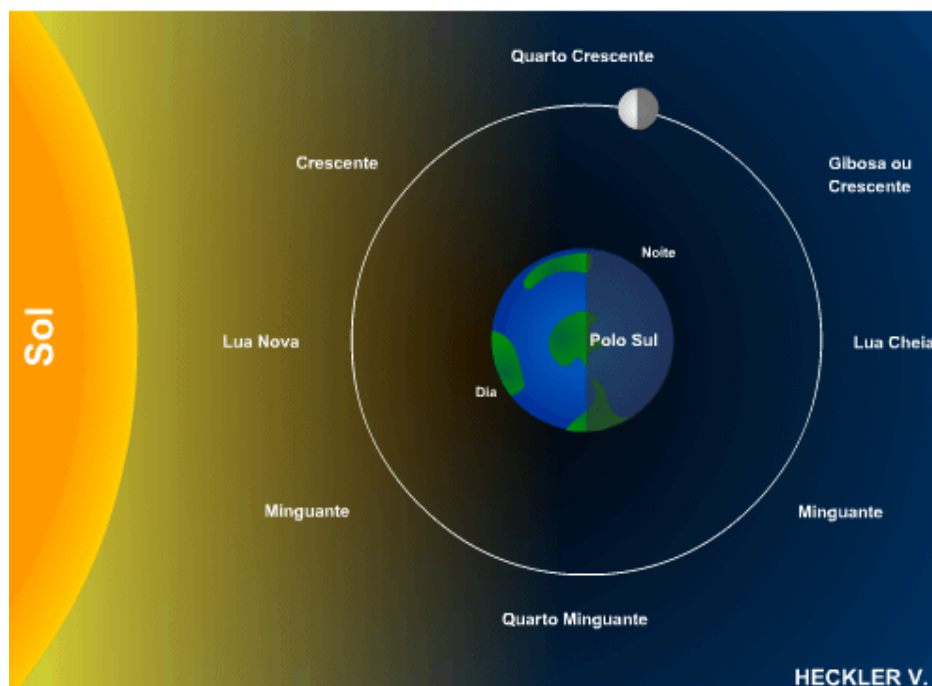
( ) Os eclipses são explicados geometricamente pelo princípio de propagação retilínea da luz.

Fonte da questão 3 - vestibular da UFMT

### **3.3 - As Fases da Lua**

As fases da Lua são causadas pelas posições relativas da Terra, da Lua e do Sol. Um fator relevante é que todos os planetas do Sistema Solar estão sempre semi-iluminados pela luz provinda do Sol. No caso da Lua, também semi-iluminada pelo Sol, a fase em que ela se encontra depende de quanto de sua face iluminada está voltada para a Terra.

A Lua órbita a Terra em 27 dias 7 horas 43 minutos em relação às estrelas e em 29,5 dias em relação ao Sol. A forma da lua em cada fase é visualizada diferentemente por observadores localizados em pontos distintos da Terra.



Simulação 3.3.1 - Simulação do movimento da Lua em torno da Terra, mostrando as diferentes posições na órbita, em relação ao Sol, em que acontecem as diferentes fases. (Não está em escala)

Observa-se, através da simulação acima (simulação 3.3.1), que quando o Sol, a Terra e a Lua se alinham ocorrem a lua nova e a lua cheia. Nos pontos médios entre estes dois instantes, ocorrem o quarto crescente e o quarto minguante.

É importante notar que a simulação acima não apresenta corretamente as órbitas da Terra em torno do Sol e da Lua em torno da Terra, pois estas órbitas não estão no mesmo plano, e da maneira que está sendo simulado, todos no mesmo plano, deveria acontecer um eclipse da Lua a cada Lua Cheia, e um eclipse do Sol a cada Lua Nova.

Na figura abaixo (figura 3.3.1), mostra-se que o plano da órbita da Lua em torno da Terra não é o mesmo plano que o da órbita da Terra em torno do Sol.

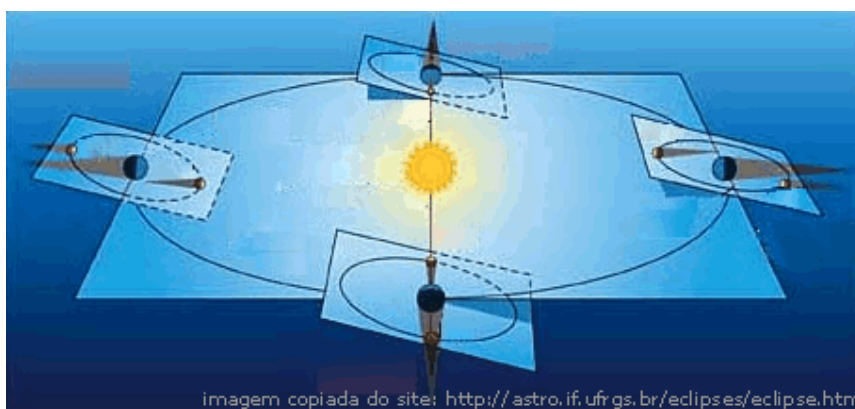


imagem copiada do site: <http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/eclipse.htm>  
 Figura 3.3.1 - Figura que mostra o plano da órbita da Lua em torno da Terra.

Na figura abaixo (figura 3.3.2), observa-se que o plano da órbita da Lua está inclinado  $5,2^\circ$  em relação ao plano da órbita da Terra. Portanto só ocorrem eclipses quando a Lua está na fase de Lua Cheia ou Nova, e quando o Sol está sobre a linha dos nodos, que é a

linha de intersecção do plano da órbita da Terra em torno do Sol com o plano da órbita da Lua em torno da Terra.

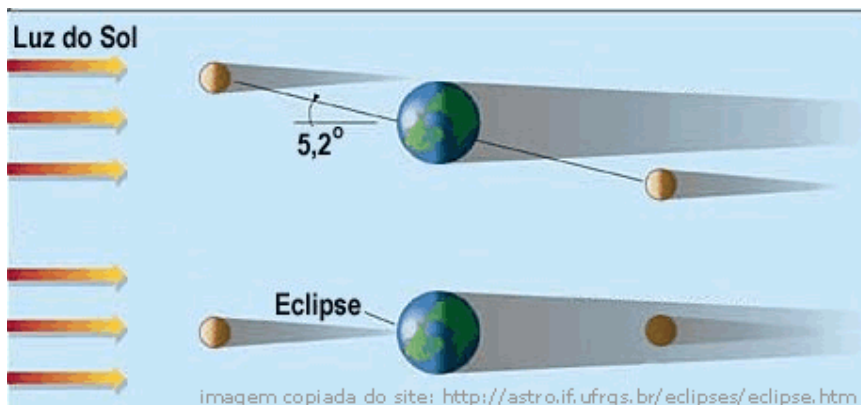


Figura 3.3.2 - A inclinação do plano da órbita da Lua em relação plano de órbita da Terra e a formação dos eclipses.

### Resolva a questão abaixo:

1- Demonstre através de um esquema, envolvendo o Sol, Terra e a Lua, as suas quatro fases: Lua nova, Lua em quarto crescente, Lua cheia e Lua em quarto minguante.

- a) Explique em qual das fases pode ocorrer um eclipse da Lua.
- b) Explique em qual das fases pode ocorrer um eclipse do Sol.

## REFLEXÃO

### 4.1 - Reflexão da Luz

A luz incidente nos objetos geralmente passa por três fenômenos simultâneos: reflexão, refração e absorção. Neste capítulo nos concentraremos no estudo da reflexão da luz, fenômeno que explica a formação das imagens nos espelhos planos e curvos, que serão estudados nos próximos capítulos.

Na figura abaixo (figura 4.1.1), mostra-se alguns objetos que não emitem luz própria. Os objetos são visíveis por que refletem a luz que incide em suas superfícies.



(Laboratório de Física - SETREM) - Heckler V.  
Figura 4.1.1 - Alguns objetos que refletem a luz, não emitindo luz própria.

A luz da lâmpada que ilumina os objetos da figura 4.1.1 provoca um aumento na movimentação dos elétrons da superfície de cada um deles, em resposta às vibrações dos campos elétricos da luz provinda da lâmpada. A reflexão da luz acontecerá com distintas frequências visíveis, que dependem da composição de cada objeto e que tornam possível enxergar os objetos com diferentes cores.

No momento em que os objetos da figura 4.1.1 foram fotografados, eram iluminados por luz branca (composta por todas cores). A parte interna do relógio, bem como algumas partes do telefone celular, aparecem na foto como brancas, mostrando que os elétrons reemitiram todas as frequências visíveis, ocorrendo muito pouca absorção de energia por estas partes do objeto. Com a parte preta do relógio ocorreu o processo contrário, neste caso houve praticamente total absorção das frequências da luz visível e, portanto, esta parte se apresenta como preta.

A figura abaixo (figura 4.1.2) ilustra uma experiência feita no laboratório de física, utilizando-se um banco óptico com um espelho fixo no centro, perpendicularmente à superfície. Ao incidir-se sobre o espelho um raio de luz laser com ângulo de 30 graus em relação à normal ao espelho (linha do 0), obteve-se um raio refletido que também mantém um ângulo de 30 graus em relação à mesma normal.

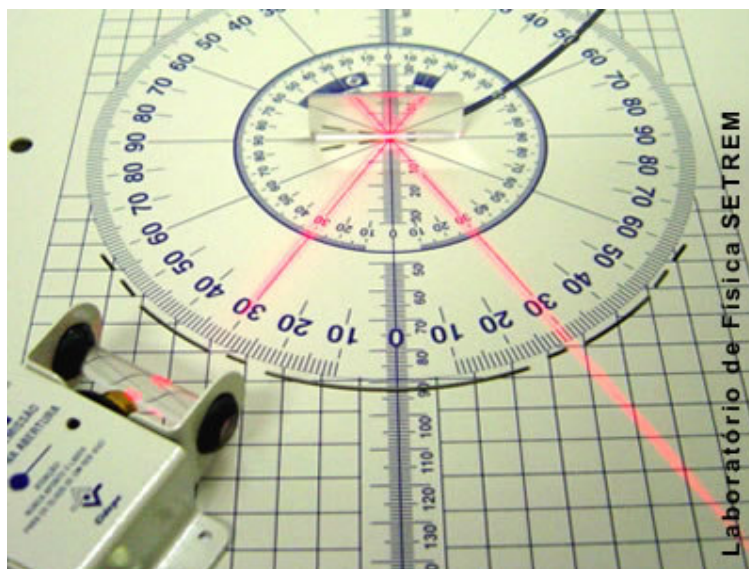


Figura 4.1.2 - Figura ilustrando o ângulo de incidência e de reflexão do raio luminoso.

Aumentando-se o ângulo de incidência do feixe de luz do laser para 60 graus, observa-se que o ângulo de reflexão da luz também aumenta para 60 graus, conforme a figura 4.1.3.

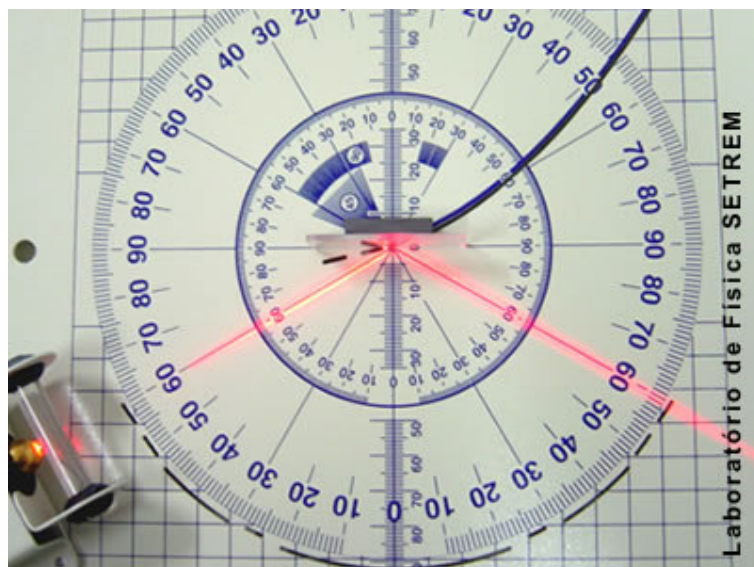


Fig 4.1.3 - Figura ilustrando o ângulo de incidência da luz igual ao de reflexão.

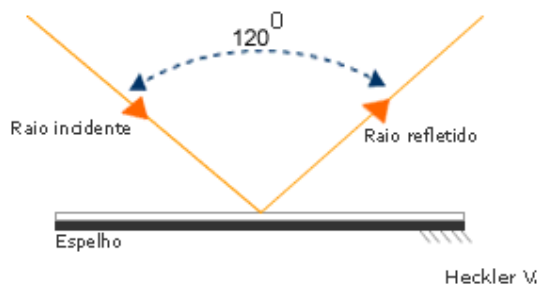
Além da igualdade entre os ângulos de incidência e reflexão, as figuras acima permitem observar uma outra lei da reflexão: os raios incidentes e refletidos e a normal estão no mesmo plano.

Em resumo, pode-se afirmar, a partir dos experimentos, que a reflexão da luz é regida pelas seguintes leis:

- 1- O raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano.
- 2- O ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

**Resolva as questões abaixo:**

1- Um raio de luz reflete-se em um espelho plano conforme ilustrado na figura abaixo. O ângulo entre os raios incidente e refletido mede  $120^\circ$ . Determine os ângulos de incidência, reflexão e o ângulo que o raio refletido forma com a superfície do espelho. Sugere-se que você represente a normal na figura.



2- O ângulo entre o raio de luz que incide em um espelho plano e a reta normal à superfície do espelho (conhecido como ângulo de incidência) é igual a  $35^\circ$ . Para esse caso, o ângulo entre o espelho e o raio refletido é igual a:



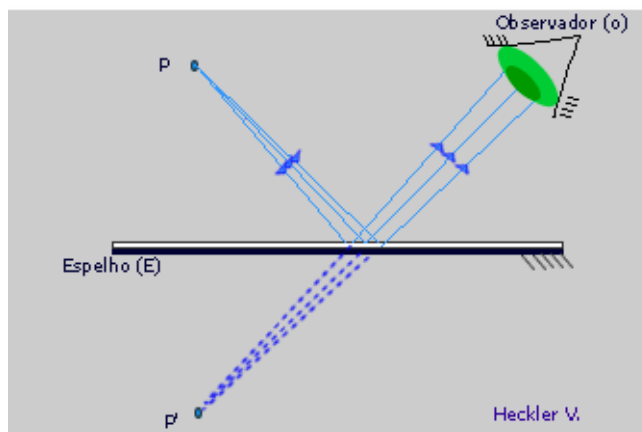
- a)  $20^\circ$ .
- b)  $35^\circ$ .
- c)  $45^\circ$ .
- d)  $55^\circ$ .
- e)  $65^\circ$ .

## ESPELHOS PLANOS

### 5.1 - Imagem de um Ponto

Para o entendimento do que são as imagens e como elas são formadas, usa-se o modelo da descrição da luz por meio de raios, as leis da reflexão e refração e conhecimentos básicos de geometria e trigonometria.

Inicialmente busca-se analisar os espelhos planos. Entende-se por espelho qualquer superfície polida que produz reflexão regular.



Simulação 5.1.1 - Simulando graficamente a formação da imagem de um ponto

Na simulação acima (simulação 5.1.1), observa-se que os raios de luz que partem do ponto (P) e incidem no espelho (E), sendo que P é considerado um ponto objeto para o espelho (E). Quando os raios encontram o espelho (E), são refletidos em ângulos iguais a seus ângulos de incidência. Os prolongamentos dos raios refletidos convergem no ponto imagem (P'). Na simulação apenas foram utilizados três raios luminosos, buscando-se simplificar a explicação do processo de formação da imagem, mas na realidade o ponto (P) reflete luz em todas as direções.

Observa-se na figura abaixo (figura 5.1.1) que o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão são iguais em relação à linha normal. O ponto (P) está localizado à distância (d) do espelho (E), que é igual à distância (d') de localização do ponto imagem (P') até o espelho (E), ou seja, o ponto imagem é simétrico em relação ao ponto objeto. Vemos que a imagem (P') vista pelo observador (O) não é formada pelos raios refletidos, mas pelo prolongamento destes. Diz-se, nesse caso, que imagem é virtual.

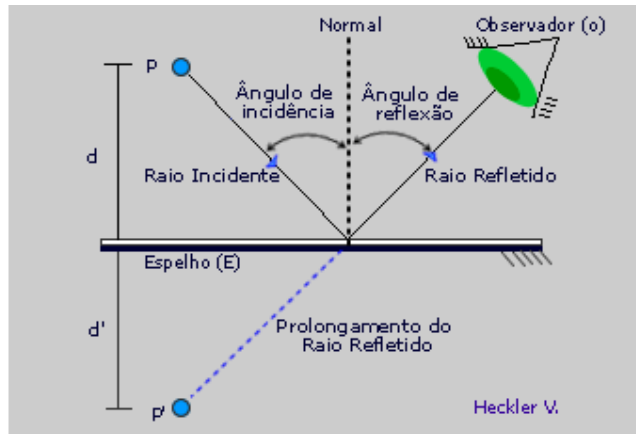
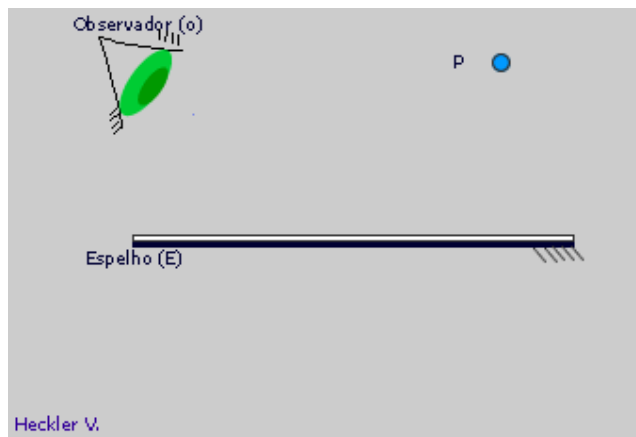


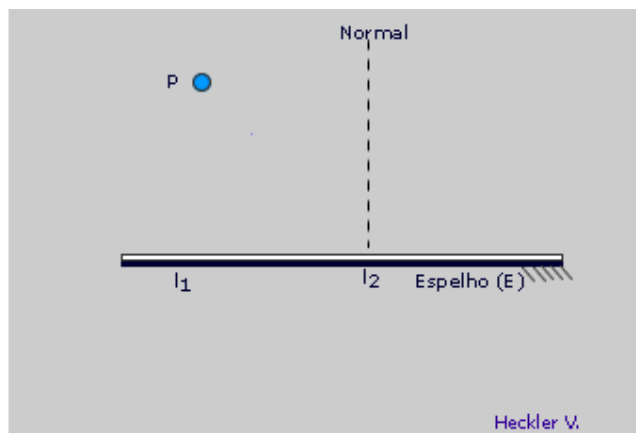
Figura 5.1.1- A lei da Reflexão

**Resolva a questão abaixo:**

1- Represente graficamente, a formação do ponto imagem vista pelo observador (o), na figura abaixo:



**5.2 - Simetria entre ponto objeto e imagem em relação ao espelho plano**



Simulação 5.2.1 - Simulando a simetria entre ponto objeto e imagem no espelho plano.

Na simulação (5.2.1), observa-se que os raios de luz  $i_1$  e  $i_2$  saindo do ponto (O), incidem a luz no espelho (E), os raios de luz  $r_1$  e  $r_2$  representam a luz refletida, deixando os prolongamentos, que formam o ponto imagem (O'). A partir da última tela que se observa na simulação 5.2.2, pode-se estabelecer uma relação entre os triângulos OMN (Azul) e O'MN (Amarelo), representados na figura abaixo (figura 5.2.1):

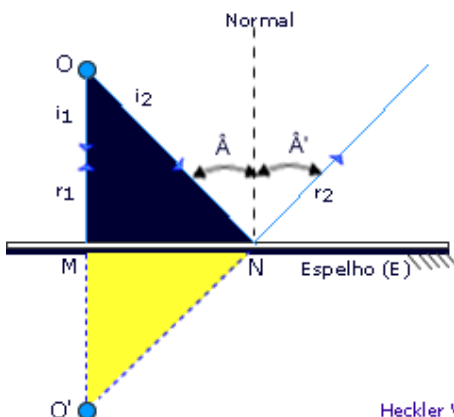


Figura 5.2.1 - Demonstração das relações existentes entre os triângulos OMN(Azul) e O'MN(Amarelo).

Observa-se, que o lado MN é o mesmo para os dois triângulos (Azul e Amarelo). Podemos afirmar, que  $\widehat{N\hat{O}M} = \widehat{A}$  (ângulos alternos internos) e  $\widehat{N\hat{O}'M} = \widehat{A'}$  (ângulos correspondentes). Como sabemos, pela lei da reflexão  $\widehat{A} = \widehat{A'}$ , logo,  $\widehat{N\hat{O}'M} = \widehat{N\hat{O}M}$ . Visualiza-se também que os ângulos formados em M são retos, portanto, conclui-se que os triângulos yMO (Azul) e y'MO (Amarelo) são iguais. Permitindo afirmar, que os lados dos triângulos MO e MO' são iguais, mostrando a existência da simetria entre os pontos O e O' em relação ao espelho (E).

Represente na figura abaixo, a formação do ponto imagem (O') a partir do ponto (O), utilizando agora o ponto de incidência N' para o raio de luz  $i_2$ , ao invés de N.

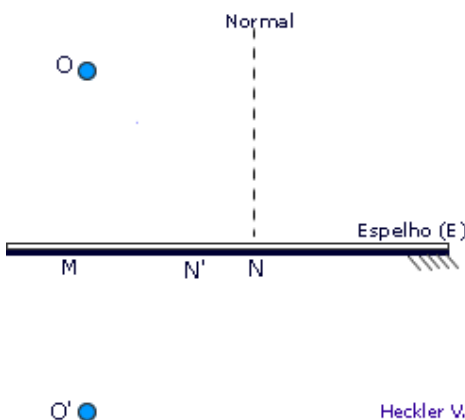
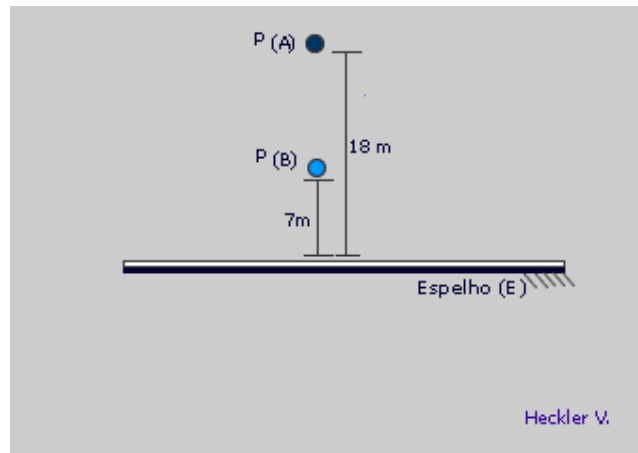


Figura 5.2.2 - Demonstração das relações de simetria, utilizando-se um ponto de incidência diferente.

O que você observou em relação aos dois novos triângulos formados? A mudança de posição do ponto de incidência N, altera a relação de simetria existente entre O, O' e E?

**Resolva as questões abaixo:**

1- Na frente de um espelho (E) estão localizados dois pontos (A) e (B), conforme figura abaixo. Aplicando conhecimento sobre Simetria entre ponto objeto e imagem em relação ao espelho plano, determine a distância entre o ponto A e o ponto imagem de B.

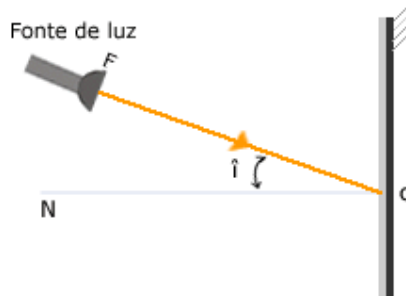


2- Explique o que acontece com a distância do ponto imagem em relação ao espelho, quando aproximarmos ou afastarmos um ponto objeto de espelho plano? Explique.

3- Um observador está a 70 cm de uma lâmpada e na mesma reta em que estão a lâmpada e sua imagem produzida pelo espelho plano. O espelho encontra-se a 20 cm da lâmpada. Com base nesses dados, a distância entre o observador e a imagem da lâmpada, em cm, é:

- a) 20
- b) 30
- c) 70
- d) 90
- e) 110

4- Uma lanterna emite um feixe de luz cilíndrico que incide em um espelho plano no ponto O, como está indicado na figura abaixo.



Sendo que o ângulo de incidência desse feixe com a normal ao espelho é  $\hat{i}$ , é correto afirmar que:

(01) um observador só verá a luz da lanterna se estiver posicionado sobre uma reta fazendo um ângulo igual a  $\hat{i}$  com relação à normal N, passando pelo ponto O e no mesmo plano formado pelo raio incidente e a normal N.

- (02) o ângulo que o feixe de luz refletido forma com o espelho é igual a  $\hat{i}$ .
- (04) se a superfície em que o feixe de luz da lanterna incide não fosse totalmente polida, o observador poderia ver a luz da lanterna de qualquer ponto, localizado no mesmo lado da superfície em que o feixe de luz incide.
- (08) uma vez que a superfície em que o feixe de luz da lanterna incide é totalmente polida, cada raio de luz incidente e refletido e a sua respectiva normal à superfície estão contidos em um mesmo plano.
- (16) devido ao fenômeno de refração da luz, podemos ver os corpos sem luz própria quando iluminados.
- Dê, como resposta, a soma das alternativas corretas.

5- Observa-se a formação de uma imagem a partir de um objeto real colocado a uma certa distância de um espelho plano, a imagem se forma equidistante do espelho e do mesmo tamanho do objeto. Explique por que esta proposição é correta. (Faça uma representação da formação da imagem no espelho)

6- A respeito dos espelhos planos, considere as proposições:

- I. A imagem de um objeto real é sempre virtual.
- II. Quando o objeto se afasta de uma distância  $d$  do espelho, a imagem também se afasta  $d$  do objeto.
- III. Quando uma pessoa se aproxima de um espelho, o tamanho da sua imagem não se altera.

A(s) proposição(ões) correta(s) é(são):

- a) somente I.
- b) somente II.
- c) somente III.
- d) somente I e II.
- e) somente I e III.

Questões de vestibular:

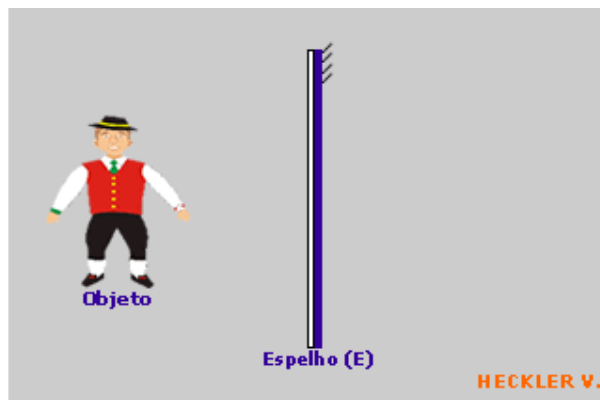
Questão 3 - UPF

Questão 4 - UFMS

Questão 5 - U. Alfenas-MG

### 5.3 - Imagem de uma Figura

Considera-se que uma figura ou qualquer objeto é formado por um conjunto infinito de pontos, pontos estes que individualmente irão formar a imagem quando a figura ou objeto for colocado frente a uma superfície refletora (exemplo um espelho).



Simulação 5.3.1 - Simulando a formação de imagem de um objeto e um espelho plano.

Através do boneco representa-se um objeto na simulação acima (simulação 5.3.1). Este objeto é um corpo que reflete luz em todas as direções quando iluminado por uma fonte luminosa. O boneco iluminado quando posto em frente a um espelho plano, incide raios de luz sobre o espelho. O espelho reflete esses raios, e os prolongamentos dos raios refletidos formam a imagem do boneco, obedecendo as condições de simetria estudadas no [item 5.2](#). A incidência e a reflexão dos raios luminosos obedecem às leis da reflexão.

Na figura abaixo (figura 5.3.1), mostra-se que a imagem do objeto atrás do espelho está tão distante dele ( $d'$ ) quanto o objeto está do espelho, sendo que o objeto ( $y$ ) e a imagem ( $y'$ ) possui o mesmo tamanho. Pode-se afirmar que a imagem  $y'$  é neste caso: não é invertida, portanto, a chamamos de **direita**, e **virtual** por ser formada pelos prolongamentos dos raios refletidos pelo espelho.

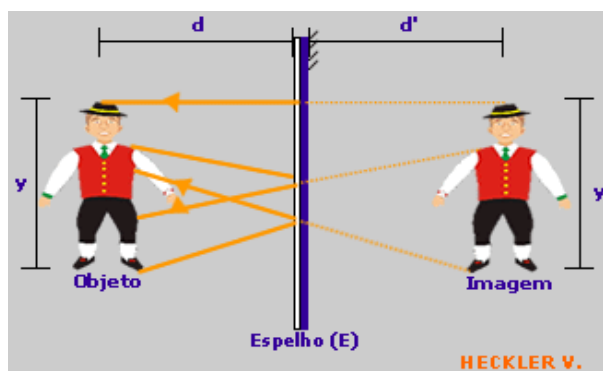
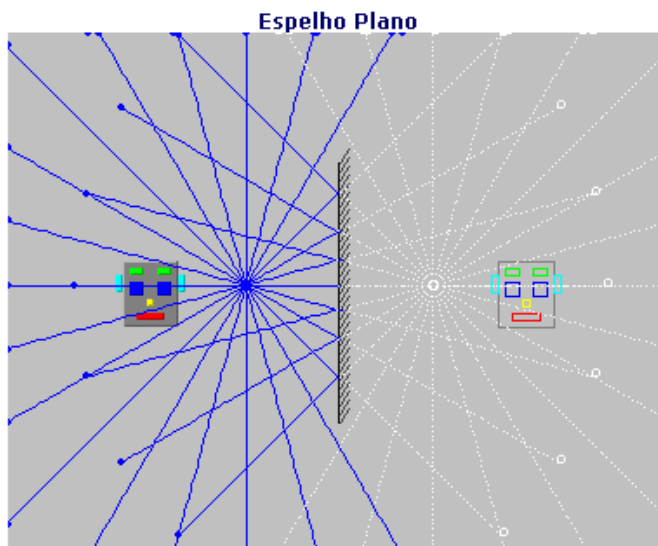


Figura 5.3.1 - Imagem virtual formada atrás do espelho pelos prolongamentos dos raios refletidos.

Ao você se olhar de frente no espelho plano, seu lado direito passa a ser o esquerdo e vice-versa, com certeza você não visualiza a sua imagem de cabeça para baixo. Procure verificar essas afirmativas, olhando-se em um espelho, ao levantar o seu braço direito sua imagem vai levantar o braço esquerdo. Busque então se aproximar e afastar do espelho e observe o que acontece com sua imagem.

Usando o simulador Java Applet (simulação 5.3.2), você poderá fazer algumas outras simulações interessantes, para formação de imagens em espelhos planos.



Simulação 5.3.2 - Simulando a formação de imagens por reflexão em um espelho plano – Applet Desenvolvido por Fu-Kwun Hwang - <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava>

### Como usar o java applet:

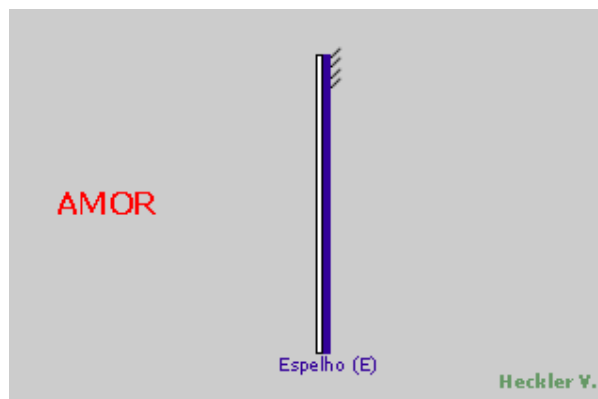
Direcione e arraste o mouse (mantendo o botão esquerdo apertado) dentro da área da máscara, podendo você obter imagens das figuras que você desenhar. Você também pode clicar sobre a figura apresentada e arrastá-la para posições diferentes.

Atividades a serem desenvolvidas com auxílio do simulador (5.3.2):

- 1- Desenhe com o mouse a letra F do alfabeto, observando como se forma a imagem da mesma.
- 2- Desenhe a palavra AMBULÂNCIA, observe como se forma a imagem da mesma.
- 3- Clique sobre a figura, buscando aproximar e afastar o objeto do espelho. Anote o que acontece com o tamanho da imagem e a distância da mesma em relação ao espelho.
- 4- Faça a simulação com um objeto, variando a velocidade de aproximação e afastamento do mesmo em relação ao espelho. A partir de seus dados, faça a análise para o que você responderia, caso fosse perguntado sobre qual o valor da velocidade da imagem (em relação ao observador), quando o objeto está se afastando do espelho com velocidade ( $v$ )?

### Resolva as questões abaixo:

5- Considere você colocando uma placa diante de um espelho plano na qual está escrita a palavra AMOR, conforme figura abaixo. Determine como você vê graficamente o resultado dessa palavra, conjugada pelo espelho.

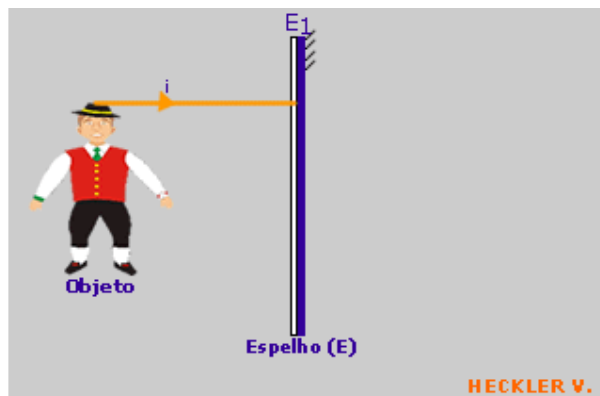


6- Supondo que o objeto está diante de um espelho vertical, fornecendo uma imagem situada a uma distância de 10 cm do mesmo. Afastando-se o espelho 25 cm em direção normal ao seu plano, que distância separará a antiga imagem da nova imagem?

## 5.4 - Rotação de um Espelho Plano

Observa-se na simulação abaixo (simulação 5.4.1), que quando o espelho gira a posição da imagem também gira, usando-se na simulação apenas um raio incidente e um raio refletido para tornar mais fácil a demonstração. Deve-se lembrar que a imagem do objeto é formada por inúmeros prolongamentos dos vários raios de luz que incidem sobre

o espelho (E). Para o caso em questão, quando o raio de luz incidente (i) incide perpendicularmente ao espelho na posição (E<sub>1</sub>) ele reflete sobre ele mesmo (r<sub>1</sub>). Quando o mesmo raio de luz (i) incide na posição do espelho (E<sub>4</sub>), em que houve uma rotação do espelho num determinado ângulo em relação à posição (E<sub>1</sub>), ele se reflete voltando na direção (r<sub>4</sub>).



Simulação 5.4.1 - Simulando a rotação do espelho plano e em conseqüência a rotação da imagem.

Na figura abaixo (figura 5.4.1) encontram-se representados o espelho E<sub>1</sub> e espelho E<sub>4</sub>, que corresponde ao espelho E<sub>1</sub> rotado de um ângulo  $\hat{A}_1$ . O raio incidente (i) tem um ângulo de incidência igual a zero em relação ao espelho E<sub>1</sub>, e um ângulo de incidência  $\hat{A}_2$  em relação ao espelho E<sub>4</sub>. Como (i) é perpendicular a E<sub>1</sub> e N é perpendicular E<sub>4</sub>, o ângulo (i) e N é igual ao ângulo entre E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub> ( $\hat{A}_1$ ), ou seja,  $\hat{A}_2 = \hat{A}_1$ . Isso indica que o ângulo de incidência no espelho E<sub>4</sub> ( $\hat{A}_2$ ) é igual ao ângulo de incidência no espelho E<sub>1</sub> (zero no caso) mais o ângulo de rotação do espelho.

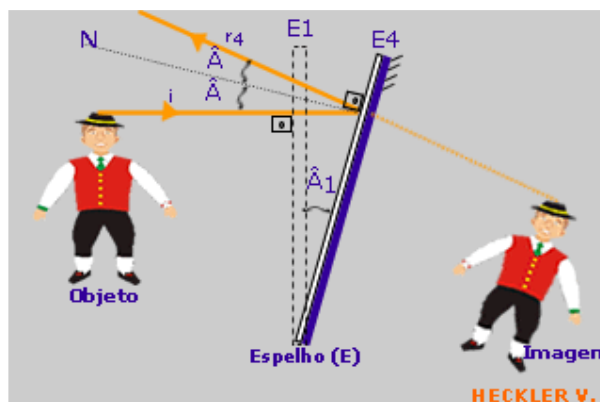
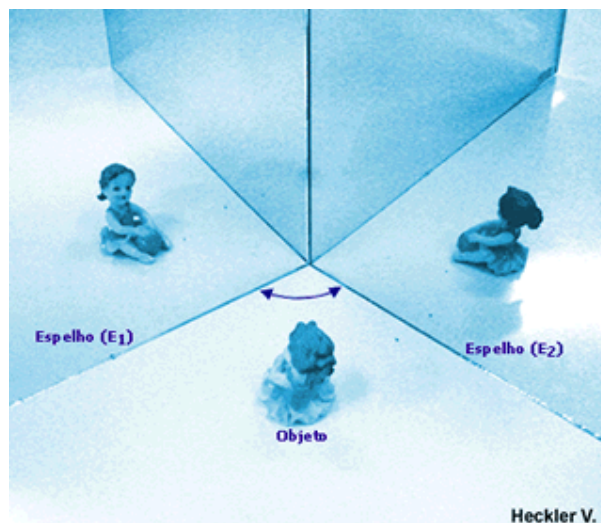


Figura 5.4.1- Representação dos ângulos de incidência e reflexão no espelho rotacionado.

## 5.5 - Associação de Espelhos

Associando-se espelhos, obtém-se o deslocamento ou a multiplicação do número de imagens de um objeto. Observa-se na simulação abaixo (simulação 5.5.1) que, à medida que o ângulo formado por dois espelhos planos (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>) diminui, o número de imagens aumenta.





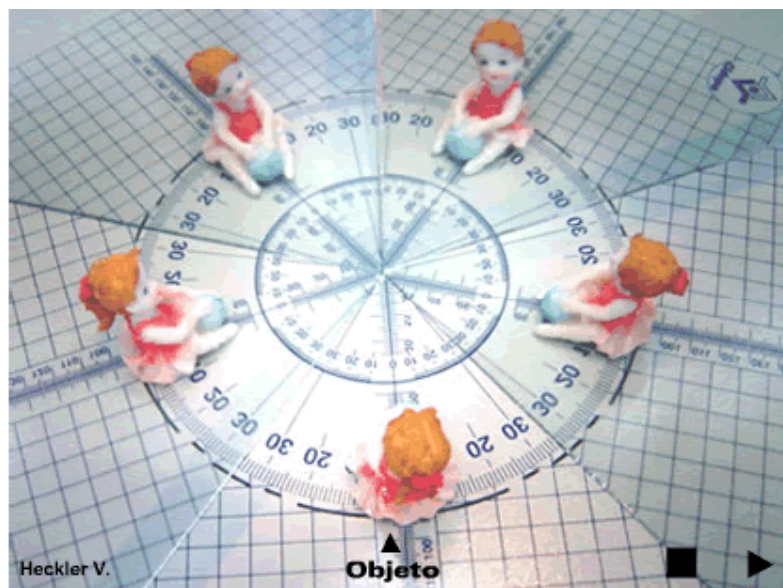
Simulação 5.5.1 - Simulando a multiplicação de imagens de um objeto com auxílio de dois espelhos planos

Analisando-se as imagens da simulação acima (simulação 5.5.1), nota-se que o número de imagens formadas está relacionado ao ângulo entre os dois espelhos: quanto menor esse ângulo, maior o número de imagens formadas. Em determinado instante, observa-se a formação de 4 imagens pelos espelhos planos, nota-se também que neste mesmo instante existe a formação de 5 setores no sistema de espelhos, ou seja, cada setor apresenta um ângulo correspondente ao ângulo de separação dos dois espelhos, ao visualizar-se 6 imagens temos 7 setores com ângulos menores do que na situação anterior, mas iguais ao ângulo que separa  $E_1$  de  $E_2$ .

Ao estabelecer-se, uma relação com o ângulo máximo que os espelhos podem girar ( $360^\circ$ ) e o provável ângulo formado ( $\hat{A}$ ) entre os dois espelhos e subtraindo-se o número 1, obtêm-se o número  $N$  de imagens formadas, na associação dos espelhos:

$$N = \frac{360^\circ}{\hat{A}} - 1$$

Observe a formação das imagens na simulação abaixo (simulação 5.5.2) e, com auxílio da expressão matemática acima, organize uma tabela em seu caderno, colocando respectivamente o número de imagens e relacionando o ângulo correspondente à possibilidade de visualização das mesmas, na associação dos espelhos planos. Caso você queira analisar melhor a simulação, clique com o mouse no botão "Stop" e pare a simulação (botão quadrado no canto inferior direito). Para prosseguir basta clicar com o mouse na seta "play".



Simulação 5.5.2- Simulando diferentes ângulos para a associação de dois espelhos planos.

Representa-se graficamente na figura abaixo (figura 5.5.1) a formação de 3 imagens ( $O_1$ ,  $O_2$  e  $O_3$ ), a partir de um objeto ( $O$ ), colocado na frente da associação de dois espelhos planos ( $E_1$  e  $E_2$ ).

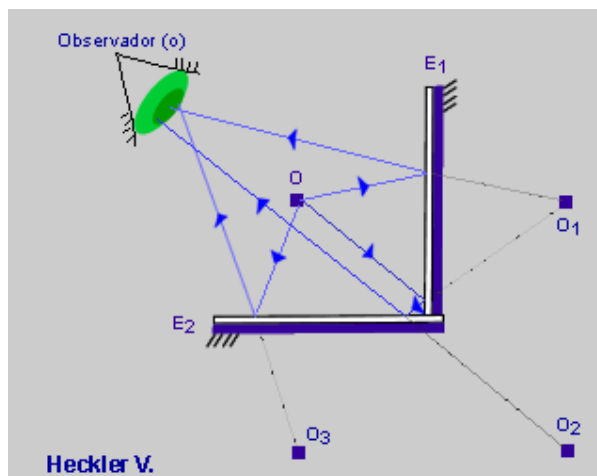


Figura 5.5.1 - Representação gráfica da formação de imagens quando os ângulos entre os espelhos é de  $90^\circ$ .

### Resolva as questões abaixo:

- 1- Explique o que acontece com o número de imagens de um objeto, quando dois espelhos planos forem associados em um ângulo muito pequeno (ângulo próximo a zero).
- 2- Determine o possível número de imagens formadas, quando dois espelhos forem associados em um ângulo de  $120^\circ$ .
- 3- Considerando a situação em que um objeto é colocado em frente a um espelho plano, assinale o que for correto:
  - 01) A imagem obtida é direita, e a distância entre a imagem e o espelho é o dobro da distância do objeto ao espelho.
  - 02) Se um novo espelho for conjugado ao espelho, o número de imagens formadas

dependerá do ângulo que os espelhos fizerem entre si.

04) Se o espelho for deslocado paralelamente à posição inicial, a imagem sofrerá um deslocamento igual ao dobro do deslocamento do espelho.

08) A imagem somente poderá ser observada se ela estiver fora do campo visual do espelho.

16) Se o espelho for rotacionado de um ângulo  $\alpha$  em relação à posição inicial, a imagem rotacionará de  $2\alpha$  no mesmo sentido.

Dê como resposta a soma das alternativas corretas.

Fonte questão 3: vestibular U. E. Ponta Grossa-PR

## ESPELHOS CURVOS

### 6.1- Espelhos Esféricos

Algumas vezes, observa-se a formação imagens de objetos em espelhos curvos, com formas estranhas e divertidas. Tente você olhar a imagem de seu rosto, formada em um dos lados de uma colher.

Visualiza-se na figura abaixo (figura 6.1.1), imagens menores do que os objetos, formadas em um espelho esférico convexo. Os Espelhos esféricos têm inúmeras aplicações práticas e tecnológicas, servindo como espelhos retrovisores em caminhões, bem como na construção de equipamentos óticos, ou mesmo servindo de espelho que auxilia para controlar roubos em supermercados e de grandes lojas, conforme o exemplo da figura 6.1.2.





Figura 6.1.1 - Formação de imagens em um espelho convexo.



Figura 6.1.2 - Espelho esférico convexo utilizado como retrovisor em um supermercado.

Pode-se definir o espelho esférico como uma calota esférica na qual uma das superfícies é refletora. Imagina-se uma superfície esférica como na figura abaixo (figura 5.1.3), onde C representa o centro da superfície e a mesma é dividida em duas calotas, através de um corte plano.

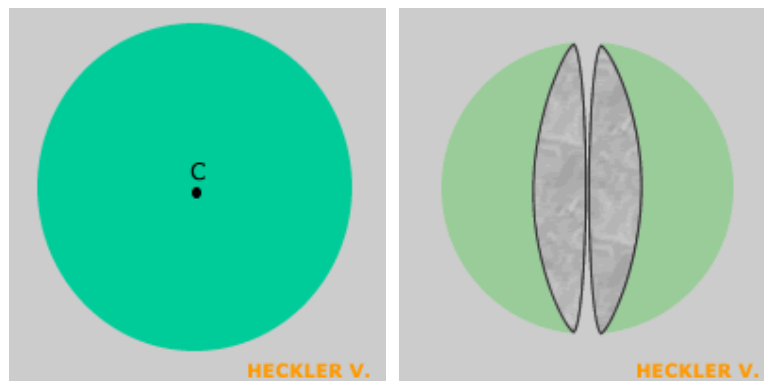


Figura 6.1.3- Representação de uma superfície esférica, dividida por um corte plano, formando duas calotas.

Pode-se definir o espelho esférico como uma calota esférica na qual uma das superfícies é refletora. Imagina-se uma superfície esférica como na figura abaixo (figura 6.1.3),

onde C representa o centro da superfície, dividindo-se a mesma, através de um corte plano obtêm-se duas calotas.

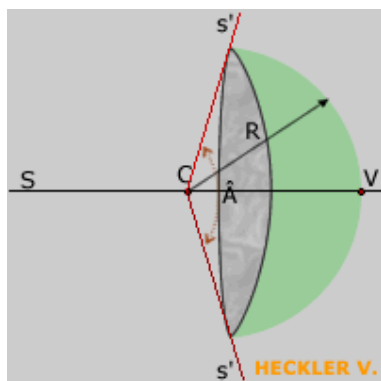


Simulação 6.1.1 - Incidência e reflexão da Luz no Espelho Côncavo.

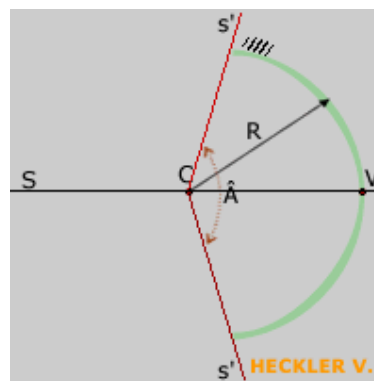


Simulação 6.1.2 - Incidência e reflexão da Luz no Espelho Convexo.

A seguir, apresenta-se alguns elementos geométricos das referidas calotas esféricas, pois são necessários para o estudo dos espelhos esféricos. Estes elementos aparecem na representação tridimensional (figura 6.1.4) e bidimensional (figura 6.1.5), mostradas abaixo:



Simulação 6.1.4 - Representação tridimensional do espelho côncavo e seus elementos.



Simulação 6.1.5 - Representação tridimensional do espelho convexo e seus elementos.

onde considera-se que:

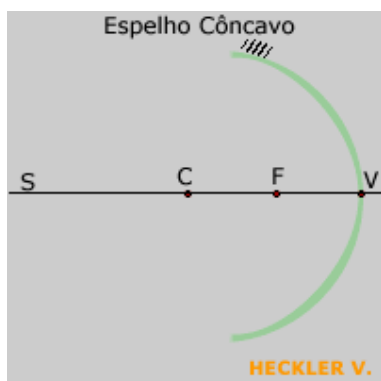
- **(S)** é o **Eixo principal do espelho** - a reta definida pelo centro de curvatura do vértice;
- **(C)** é o **Centro de curvatura do espelho** - o centro da superfície esférica à qual a calota pertence;
- **(R)** é o **Raio de curvatura do espelho** - o raio da superfície esférica à qual a calota pertence;
- **(V)** é o **Vértice do espelho** - o ponto mais externo da calota esférica;

- (**Â**) é a **Abertura do espelho** - ângulo determinado pelos eixos secundários que passam pelo centro de curvatura;

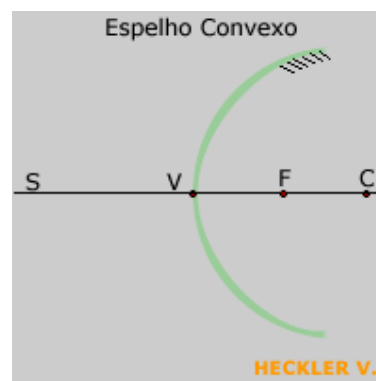
- (**S'**) são os **Eixos secundários dos espelhos** - qualquer reta que passa pelo centro de curvatura, mas não pelo vértice.

## 6.2 - Focos de um Espelho Esférico

Nas simulações abaixo, observa-se um feixe de raios luminosos paralelos incidindo nos espelhos esféricos côncavo (simulação 6.2.1) e convexo (simulação 6.2.2), paralelamente ao eixo principal (S). No caso do espelho côncavo (simulação 6.2.1), verifica-se que o feixe refletido passa na sua totalidade pelo ponto F, localizado entre o centro de curvatura e o vértice do eixo principal. Para o caso do espelho convexo (simulação 6.2.2), são os prolongamentos dos raios refletidos que se cruzam no ponto F. Para ambos os espelhos este ponto, geometricamente é equidistante de C e V, e é denominado **foco principal (F)**.



Simulação 6.2.1 - Feixe de raios paralelos incidindo no espelho esférico côncavo



Simulação 6.2.2 - Feixe de raios paralelos incidindo no espelho esférico convexo

**O foco principal (F) é real nos espelhos côncavos** (interseção efetiva) e **virtual nos convexos** (interseção de prolongamentos). Afirma-se então, que para os espelhos esféricos, dentro das condições de Gauss (espelhos com aberturas  $\hat{A} < 10^\circ$ ), seguem a relação: quando os raios de luz refletem no espelho côncavo (simulação 6.1.1), os mesmos convergem para o foco principal (F), e no caso dos espelhos convexos (simulação 6.2.2) os raios refletidos divergem, sendo que os prolongamentos dos mesmos convergem para o foco principal (F).

Mostra-se na figura abaixo (figura 6.1.1), que o foco principal (F) encontra-se localizado no meio do centro de curvatura (C) e do vértice (V), e que a distância entre o foco principal (F) e o vértice (V) é a **distância focal (f)**.

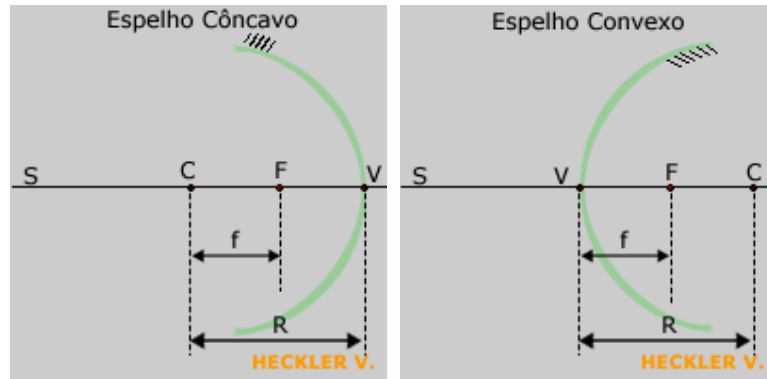


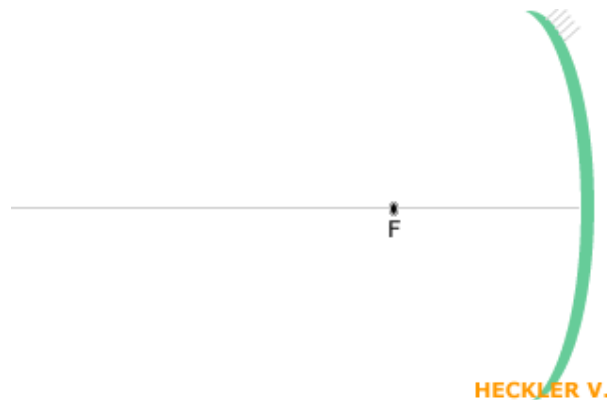
Figura 6.1.1 - Representação da distância focal (f) e o raio de curvatura (R) nos espelhos esféricos

Pode-se então relacionar a distância focal (f), com o raio de curvatura (R), onde:

$$f = R/2$$

### Mas o que acontece com espelhos esféricos que não obedecem às condições de Gauss?

Para os espelhos esféricos de grande abertura, os quais não obedecem as condições de Gauss, os raios de luz refletidos pelas superfícies de tal espelho, convergem para diferentes pontos do eixo principal, conforme simulação 6.2.3, formando apenas uma determinada mancha luminosa, que na prática seria a obtenção de uma imagem não nítida, conhecida como **aberração esférica**.

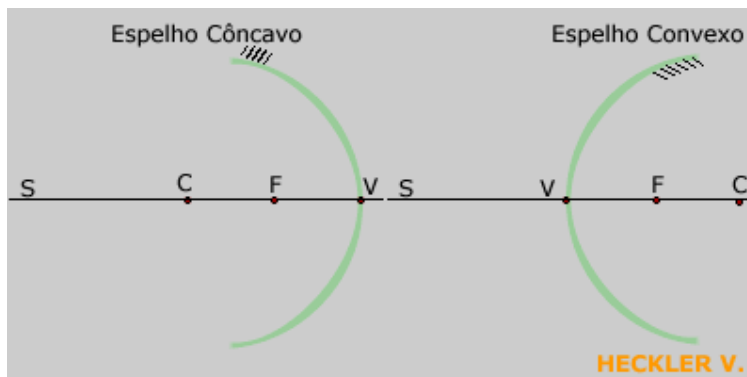


Simulação 6.2.3 - Espelho esférico de grande abertura, não convergindo todos raios refletidos no foco (F).

### 6.3 - Construção gráfica de imagens em espelhos esféricos

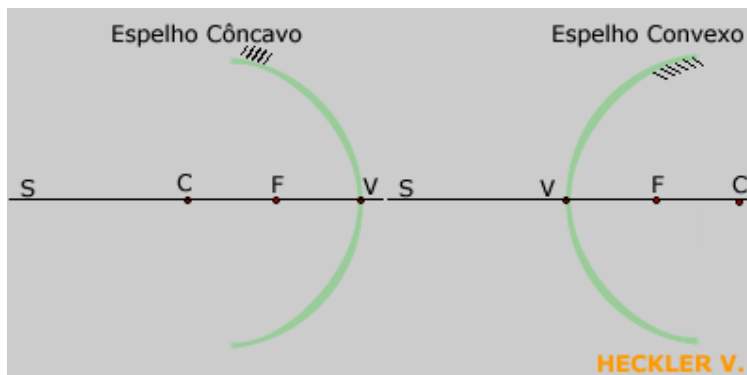
É importante, para o entendimento do processo da construção de imagens em espelhos esféricos, conhecer o comportamento de alguns raios de luz, quando incidem e refletem em um espelho curvo. Apresenta-se nas simulações abaixo quatro casos especiais que acontecem em espelhos de pequena abertura. Portanto, é importante ressaltar, daqui para frente em nossos estudos sobre espelhos curvos vamos desconsiderar a aberração cromática.

**Um raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal reflete-se numa direção que passa pelo foco principal, veja na simulação abaixo (simulação 6.3.1).**



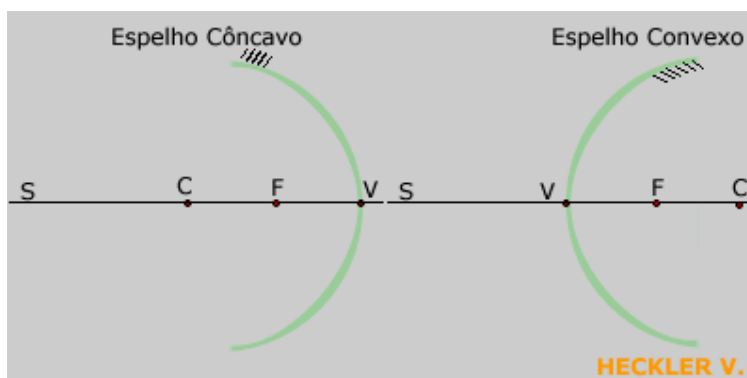
Simulação 6.3.1 - Simulando a incidência de raios de luz paralelos nos espelhos côncavo e convexo.

**No caso do raio de luz que incide numa direção do foco principal F, terá o raio refletido paralelo ao eixo principal, conforme simulação abaixo (simulação 6.3.2).**



Simulação 6.3.2 - Simulando a incidência de raios de luz que passam pelo foco nos espelhos côncavo e convexo.

**Quando um raio de luz incide no espelho esférico numa direção que passa pelo centro de curvatura, ele reflete sobre si mesmo, como se mostra na simulação abaixo (simulação 6.3.3).**

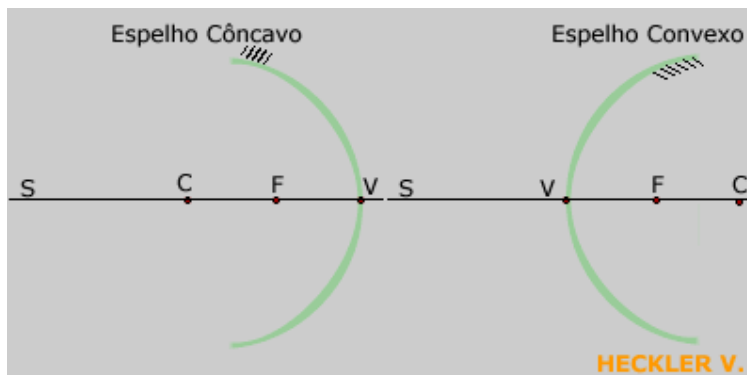


Simulação 6.3.3 - Simulando a incidência de raios de luz no centro de curvatura dos espelhos côncavo e convexo.

**No quarto caso que está sendo estudado, aborda-se aquele raio de luz que incide no vértice do espelho esférico, refletindo-se de forma simétrica ao eixo**



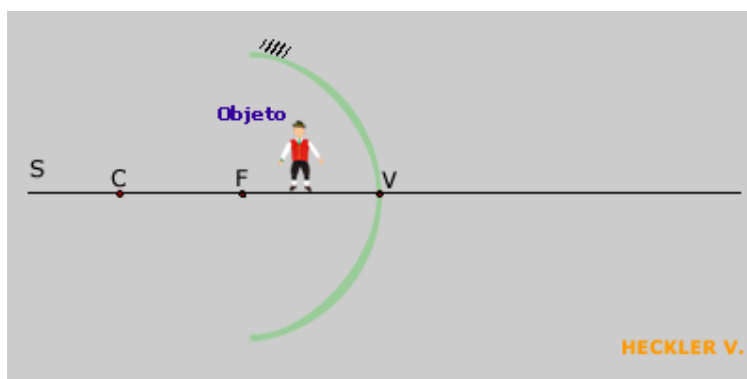
**principal, pois o ângulo de incidência ( $i$ ) é igual ao ângulo de reflexão ( $r$ ), veja simulação abaixo** (simulação 6.3.4).



Simulação 6.3.4 - Simulando a incidência de raios de luz no vértice dos espelhos côncavo e convexo.

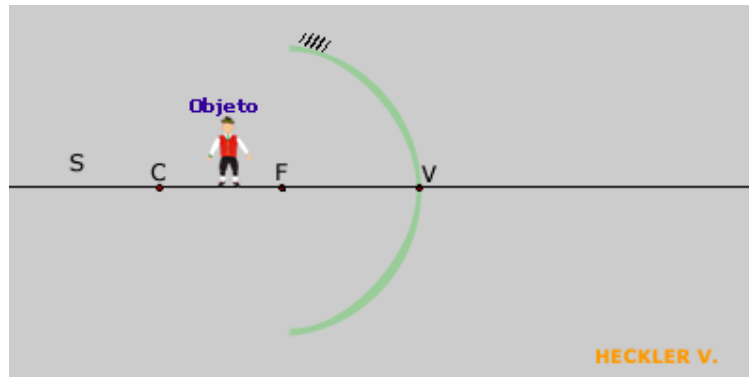
A partir do estudo comportamental dos quatro raios incidentes nos espelhos curvos, feito acima, construí-se imagens de objetos em espelhos côncavos e convexos. Mostra-se abaixo quatro simulações de construção de imagens. Inicialmente expõem-se três situações importantes para o espelho esférico côncavo, variando a posição do objeto em relação ao vértice do espelho, e por último mostra-se a formação da imagem em espelho convexo.

Observa-se na simulação (simulação 6.3.5) a construção de uma imagem a partir de objeto localizado entre o foco (F) e o vértice (V) do espelho côncavo. Nesse caso a imagem é construída, a partir de dois raios notáveis, um que incide paralelamente no espelho resultando em um raio refletido que passa pelo foco, e outro que incide no vértice do espelho, sendo refletido com ângulo igual ao de incidência. Obtém-se como resultado uma imagem **virtual, direita e maior** que o objeto, formada pelo encontro dos prolongamentos dos raios refletidos no espelho curvo.



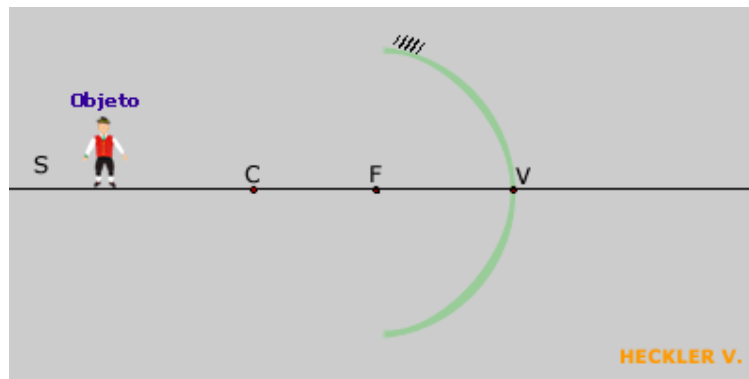
Simulação 6.3.5 - Simulando a formação de imagem de um objeto localizado entre o foco e o vértice.

Na simulação 6.3.6, utiliza-se para a construção da imagem do objeto, localizado entre o centro de curvatura (C) e o foco (F), um raio que incide paralelamente no espelho curvo e outro incidente no foco (F) do eixo principal. Observa-se que a imagem formada é **real, invertida e maior** que o objeto.



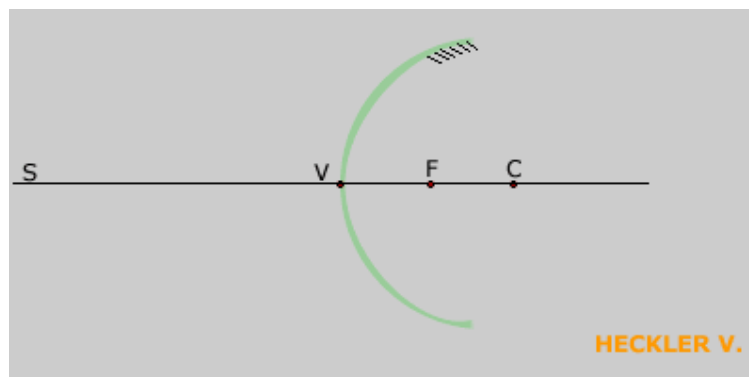
Simulação 6.3.6 - Simulando a formação de imagem de um objeto localizado entre o centro de curvatura e o foco.

No terceiro caso de nosso estudo, sobre a formação de imagens no espelho côncavo, coloca-se um objeto antes do centro de curvatura (C), e observa-se na simulação 6.3.7, a formação de uma imagem **real, invertida e menor** do que o objeto.



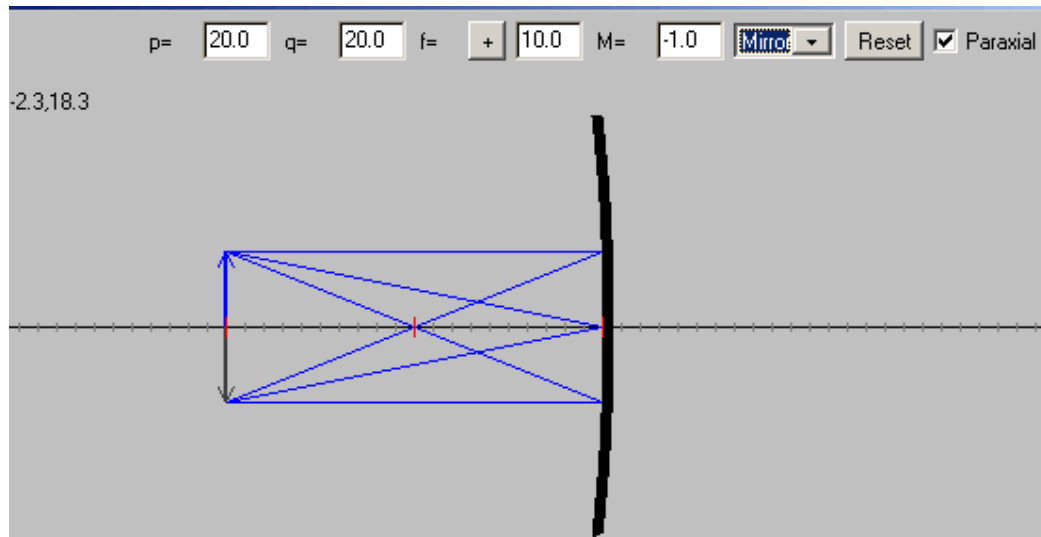
Simulação 6.3.7 - Simulando a formação de imagem de um objeto localizado antes do centro de curvatura.

Abordar-se na simulação abaixo (simulação 6.3.8), o caso de formação de imagens para o espelho convexo, na qual obtêm-se uma imagem, **virtual, direita e menor** que o objeto. Salientando-se que para qualquer posição relativa do objeto na frente do espelho convexo, a formação da imagem sempre será **virtual, direita e menor** que o objeto.



Simulação 6.3.8 - Simulando a formação de imagem de um objeto no espelho convexo.

Desafia-se você a usar o simulador interativo (simulação 6.3.9), onde poderá simular a formação de imagens com diferentes tamanhos de objetos, localizados em diferentes pontos em relação aos espelhos, côncavo e convexo.



Simulação 6.3.9 - Simulador interativo para espelhos curvos, desenvolvido Fu-Kwun Hwang - [http://www.cepa.if.usp.br/fkw/Lens/lens\\_e.html](http://www.cepa.if.usp.br/fkw/Lens/lens_e.html).

**Observações importantes para um bom uso do Simulador Java Applet**  
 (informações copiadas e adaptadas de [http://www.cepa.if.usp.br/fkw/Lens/lens\\_e.html](http://www.cepa.if.usp.br/fkw/Lens/lens_e.html))

Alguns componentes do simulador:

linhas azuis	traço do percurso da luz
linhas verdes	traço de formação de imagem virtual (prolongamentos de luz)
primeiro campo de texto	posição do mouse (x , y) em relação ao vértice do espelho
linha branca	perpendicular à superfície do espelho
linha amarela	percurso de luz para um suposto raio paraxial

**Parâmetros que podem ser mudados:**

1. No quadrado branco no topo do simulador estiver selecionado "**Lens**", clique nele para selecionar "**mirror**" (**espelho**).
2. Padrão: supondo raio paraxial (você pode desligá-lo, clicando com o mouse sobre esta opção).
3. Mover o objeto: clique próximo à ponta do objeto e arraste-o até onde você desejar e então solte o botão do mouse.
4. Mude o comprimento do foco do espelho, clicando próximo ao topo ou fundo do espelho, então arraste o mouse. Tente!
5. Mude o comprimento do foco do espelho, clicando próximo ao topo ou fundo espelho, então arraste o mouse. Tente!
6. Se você ajustar o tamanho da janela, os parâmetros serão reajustados para os padrões.
7. Você pode mudar os parâmetros a seguir, digitando-os dentro do campo-texto.

Parâmetros	distância	padrões
<b>P</b>	<b>objeto</b>	<b>20.</b>
<b>q</b>	<b>imagem</b>	<b>20.</b>
<b>f</b>	<b>foco</b>	<b>10.</b>
<b>m=-q/p</b>	<b>aumento</b>	<b>1.</b>

### Observação Importante:

- Para os casos em que o parâmetro **f (foco)** for positivo teremos um espelho côncavo;

- para os casos em que o parâmetro **f (foco)** for negativo teremos um espelho convexo.

Portanto, você poderá alterar o tipo de espelho a ser usado no simulador, clicando com o mouse sobre o sinal do foco: positivo (côncavo) ou negativo (convexo).

### Sugestões de atividades usando o simulador:

1- Posicione o objeto sobre o centro de curvatura do espelho (côncavo e convexo) e observe o que acontece com a imagem (tamanho, distância, se é real ou virtual).

2- Posicionando o objeto em diferentes posições no espelho côncavo, antes do centro de curvatura, entre centro de curvatura e o foco e depois do foco; anote as suas observações acerca da formação da imagem.

3- Posicione o objeto sobre o foco do espelho (côncavo e convexo), o que acontece com os raios de luz refletidos pelos espelhos curvos.

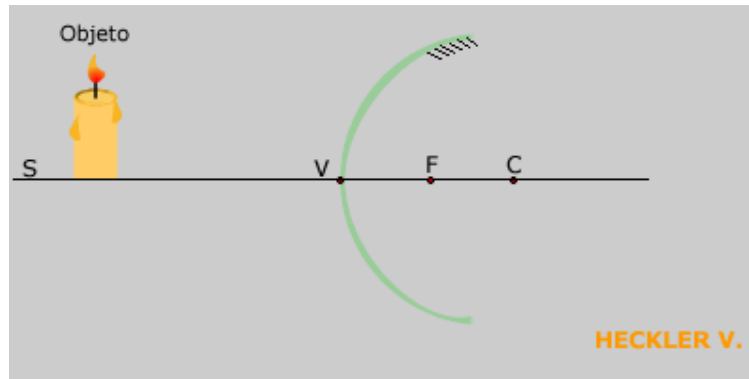
### Resolva as questões abaixo:

1- Como você poderia aquecer uma moeda usando um espelho esférico e energia solar? Considere que os raios solares que incidem no espelho são praticamente paralelos.

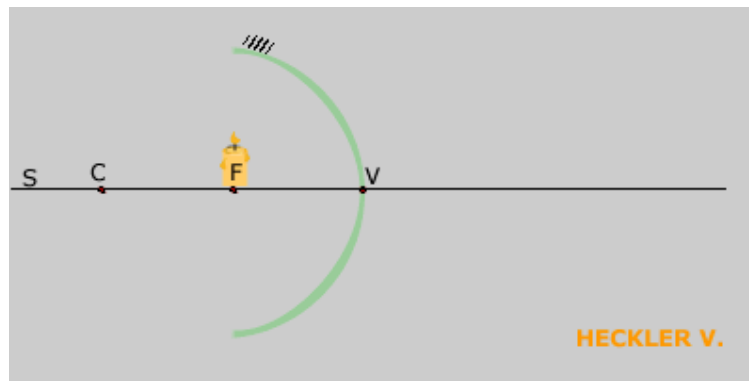
a) Esquematize e represente o funcionamento do seu aquecedor de moeda.

b) O espelho que você usaria é côncavo ou convexo? Explique em que posição, relativamente ao espelho, você colocaria a moeda.

2- A figura abaixo mostra um objeto colocado na frente de um espelho convexo. Represente através dos raios de luz incidentes e refletidos a formação da imagem, classificando-a em real ou virtual.



3- A partir dos raios incidentes e refletidos no espelho côncavo, determine o que acontece com a imagem para o caso da figura abaixo:



#### 6.4- Relação entre a Altura do Objeto e a da Imagem

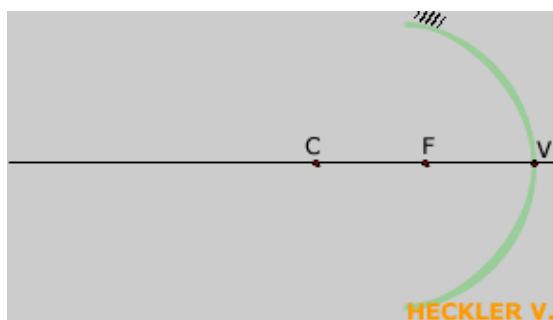


Figura 6.4.1 - Figura mostrando a formação de uma imagem menor do que o objeto.

Observa-se, na figura acima (figura 6.4.1), que a imagem produzida por um espelho convexo é menor do que o objeto. Mas sabe-se que as imagens formadas pelos espelhos

curvos podem ser maiores ou menores do que os objetos, dependendo da posição do objeto em relação ao espelho e do tipo de espelho que produz a imagem.

Para obter-se a relação entre o tamanho do objeto e o da imagem, inicialmente parte-se de uma imagem formada por um espelho côncavo, conforme a simulação 6.4.1.



Simulação 6.4.1- Formação de uma imagem do objeto pelo espelho curvo.

Analisando-se o resultado da simulação acima, na figura 6.4.2, observa-se que, como os ângulos de incidência ( $i$ ) e de reflexão ( $r$ ) são iguais, pode-se afirmar que o triângulo  $O_1O_2V$  é semelhante ao triângulo  $I_1I_2V$ , e o triângulo  $O_1O_2C$  é semelhante ao triângulo  $I_1I_2C$ .

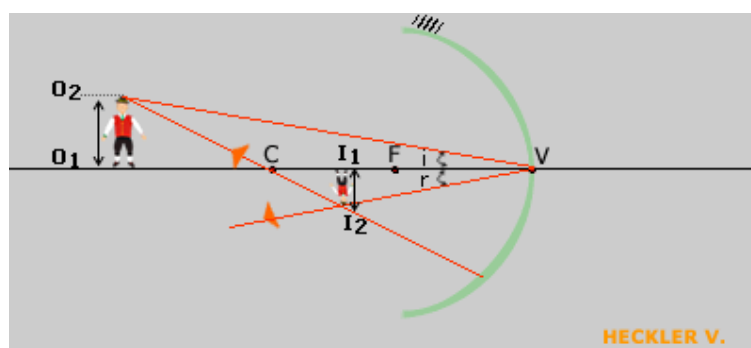


Figura 6.4.2 - Semelhanças entre o triângulo  $O_1O_2V$  e  $I_1I_2V$  e a do triângulo  $O_1O_2C$  e  $I_1I_2C$ .

Portanto, as seguintes relações são válidas:

$$\frac{I_2I_1}{O_2O_1} = \frac{I_1V}{O_1V}$$

Como  $I_1I_2$  é a altura da imagem ( $I$ ),  $I_1V$  é a distância da imagem ao espelho ( $D_i$ ),  $O_1V$  é a distância do objeto ( $D_o$ ) ao espelho e  $O_1O_2$  é altura do objeto ( $O$ ), pode-se escrever a seguinte relação:

$$\frac{I}{O} = \frac{D_i}{D_o}$$

Portanto, o aumento ( $I/O$ ) produzido pelo espelho curvo é igual à razão entre a distância da imagem ao espelho e a distância do objeto ao espelho.

**O seu desafio é agora provar, a partir dos dados relacionados na figura 6.4.2, a validade da equação dos espelhos esféricos, que lhe é apresentado abaixo:**

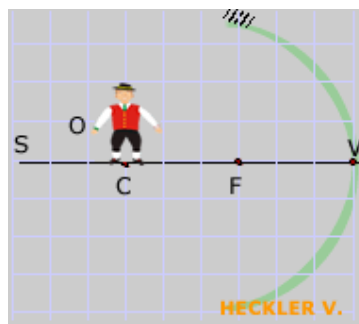
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{D_i} + \frac{1}{D_o}$$

É importante ressaltar que  $f$  é conhecido como a distância focal do espelho, que terá valor positivo quando o espelho for côncavo (foco é real) e negativo quando for convexo (foco virtual). A distância  $D_i$  será positiva se a imagem for real e negativa se for virtual e a distância  $D_o$  será sempre positiva.

### Questões para você responder:

1- Um determinado objeto é colocado a 20 cm de um espelho esférico côncavo. Sabendo que a imagem obtida tem a mesma altura do objeto, determine a distância focal do espelho.

2- A figura representa um objeto  $O$  colocado entre o centro de curvatura  $C$  de um espelho esférico côncavo.



A imagem formada será:

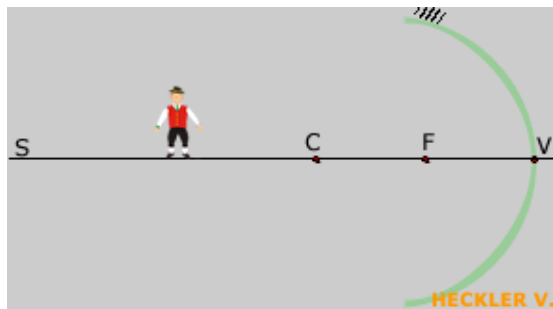
- a) virtual, direita e menor.
- b) virtual, invertida e menor.
- c) real, direita e menor.
- d) real, invertida e maior.
- e) real, invertida e de mesmo tamanho.

3- Um objeto de 5,00 cm de altura é colocado 30 cm à frente de um espelho côncavo, de distância focal 10,0 cm. Sobre isto, assinale o que for correto:

- 01) A distância focal de um espelho esférico côncavo é igual à metade do raio de curvatura do espelho.
- 02) Raios de luz paralelos e próximos ao eixo principal do espelho côncavo, ao se refletirem, convergem em um ponto  $F$ , denominado foco principal do espelho.
- 04) Ao dobrar-se a distância do objeto ao espelho côncavo, a distância da sua imagem ao espelho também dobra.
- 08) A imagem do objeto será invertida, tendo 2,5 cm de altura.
- 16) Se o objeto for colocado no centro de curvatura do espelho côncavo, a imagem será do mesmo tamanho e se localizará no foco.
- 32) A imagem do objeto situa-se a 15 cm do vértice do espelho.

**Dê como resposta a soma das alternativas corretas.**

4- Um objeto é colocado a 40cm do vértice de um espelho esférico côncavo com raio de curvatura de 30cm, conforme a figura. A distância da imagem ao espelho será de:



- a) 20 cm
- b) 24 cm
- c) 30 cm
- d) 36 cm
- e) 50 cm

5- Na entrada do circo existe um espelho convexo. Uma menina de 1,0 m de altura vê sua imagem refletida quando se encontra a 1,2 m do vértice do espelho. A relação entre os tamanhos da menina e de sua imagem é igual a 4. Calcule a distância focal do espelho da entrada do circo.

Questões de vestibulares:  
 Questão 2 - UFSM  
 Questão 3 - U. E. Maringá-PR  
 Questão 4 - UFSM  
 Questão 5- UERJ

## REFRAÇÃO DA LUZ

### 7.1 - Refração da Luz e suas aplicações

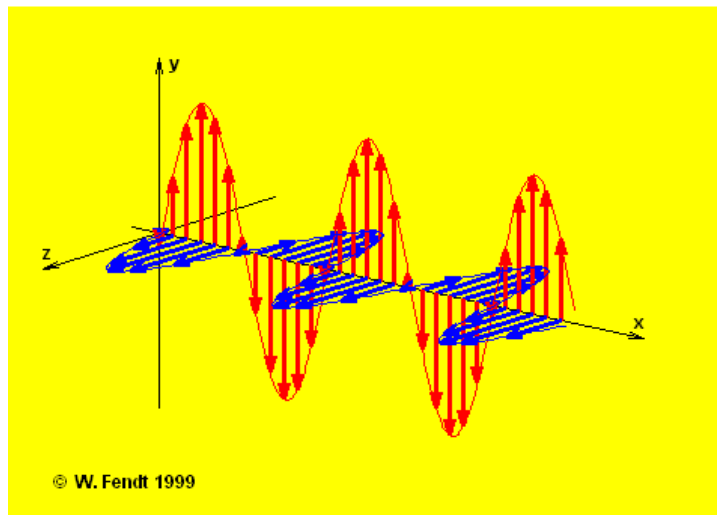
Começa-se o estudo da refração da luz, pensando em explicar alguns fenômenos comuns no nosso dia-a-dia, como no exemplo do desvio que enxergamos no cabo da colher dentro de um recipiente com água (figura 7.1.1), as miragens nas rodovias em dias quentes, a formação do arco-íris em dias de chuva. A refração também deverá auxiliar você a entender posteriormente, o funcionamento de instrumentos óticos extremamente úteis, como prismas, lunetas, microscópios, câmeras fotográficas, óculos, binóculos e projetores de imagens.





Figura 7.1.1 - Representação do desvio dos raios luminosos devido a refração.

Ao tratar-se a luz como onda eletromagnética, observa-se que ela consiste na propagação de dois campos variáveis periodicamente: um elétrico e outro magnético, conforme simulação abaixo (simulação 7.1.1), onde mostra-se uma onda eletromagnética, denominada onda plana polarizada, que se propaga na direção x positivamente. Os vetores do campo elétrico (vermelho) são paralelos ao eixo y, os vetores do campo magnético (azul) são paralelos ao eixo z.



Simulação 7.1.1 - Simulando a propagação dos campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética. Desenvolvido por Walter Fendt - <http://www.walter-fendt.de/ph11br>

Levando-se em consideração que para expressar a frequência ( $f$ ) de uma onda eletromagnética utiliza-se Hz (ciclos por segundo), e que o tempo que leva para completar cada ciclo, é o período ( $T$ ) dessa onda, pode-se relacionar:

$$f = 1/T$$

Também considera-se que o comprimento de uma onda é  $\lambda$  (comprimento de um ciclo), e a sua velocidade pode ser expressa por:  $v = \lambda/T$  ou  $v = \lambda.f$ .

Ao analisar-se o espectro eletromagnético correspondente à luz visível, verifica-se que cada frequência determina para o observador uma sensação de cor. Por exemplo, se o nosso olho é excitado por ondas eletromagnéticas de  $f = 4 \times 10^{14}$  Hz, percebemos a cor vermelha. Alterando-se as frequências, observa-se outras cores (simulação 7.1.2), além de várias tonalidades intermediárias. A luz vermelha corresponde à luz visível de mais baixa frequência, enquanto a luz violeta corresponde à luz visível de mais elevada frequência.



Simulação 7.1.2 - Simulando as cores por ordem de frequência.

A luz branca, por exemplo, é emitida pelos faróis dos automóveis, pelas lâmpadas que iluminam nossas casas ou pelo sol, ela pode ser descrita pela composição de sete cores principais (vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta), observáveis no simulador acima (simulador 7.1.2). Nesse simulador vemos que cada cor corresponde a um intervalo de frequências centrado em um certo valor. Por exemplo, a cor vermelha compreende o intervalo centrado em  $4 \times 10^{14}$  Hz e a cor azul compreende ao intervalo centrado em  $8 \times 10^{14}$  Hz.

Ao voltar-se especificamente ao estudo da refração, considera-se inicialmente que luz ao se propagar no vácuo, possui uma velocidade de propagação igual para qualquer que seja a cor (frequência), ou seja,  $c = 3,00 \times 10^5$  Km/s ou  $3,00 \times 10^8$  m/s.

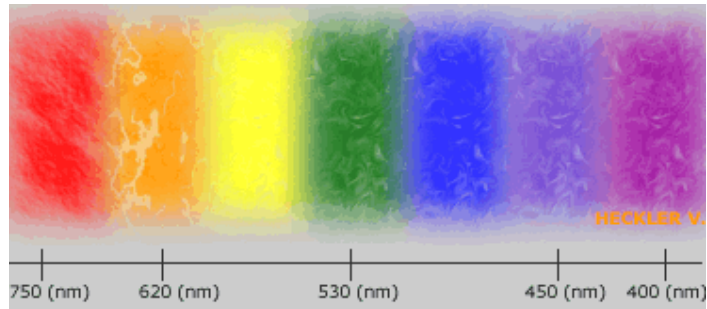
Mas é importante ressaltar aqui, que quando a luz se propagar num meio material, a sua velocidade se altera, em virtude da interação da luz com a matéria, sendo que a velocidade de propagação  $v$  de qualquer luz na matéria é menor que  $c$ , portanto, quando incidirmos luz obliquamente em um meio é em função da mudança de velocidade que ocorre o desvio do raio luminoso, processo este que chamamos de refração.

Então ao se observar um objeto localizado na água, verifica-se que existe um desvio, na direção de propagação da luz refletida pelo objeto, quando ela passa da região da água para o ar, como no exemplo da figura 7.1.1. Afirmando-se que essa mudança de direção é causada pela variação da velocidade de propagação da onda ao passar de uma região para outra, sendo essa a característica da refração.

Outro detalhe interessante, é que o desvio na direção da luz, provocada pelos diferentes meios, depende do comprimento da luz incidente, pois com comprimentos de ondas diferentes, obteremos diferentes desvios. É o que acontece quando a luz branca (composto por diferentes frequências), ao ser refratada por determinada superfície (prisma, gota de água), cada cor terá um desvio diferente, formando a dispersão da luz, por exemplo, a componente luz vermelha sofre um desvio menor do que a componente azul.

### Atividades:

1- Com base na figura abaixo, determinar a frequência da luz para a cor verde, vermelha, laranja e anil. Use a velocidade da luz  $c = 3 \times 10^8$  m/s e a equação para calcular a frequência  $f$  é dada por:  $f = \frac{c}{\lambda}$ , sendo que  $1\text{nm} = 10^{-9}$  m.



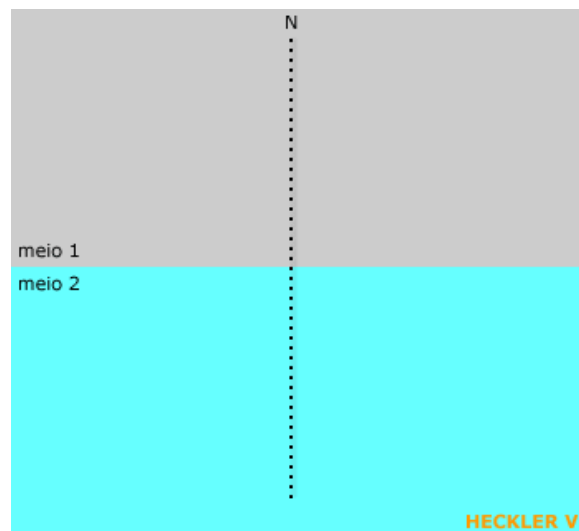
2- Se um jovem índio apontar uma flecha diretamente para um pequeno peixe em um lago, ele errará o alvo. Isso ocorre devido ao fenômeno óptico conhecido por:

- a) Difração
- b) reflexão
- c) polarização
- d) refração
- e) interferência

Questão 2 - vestibular da UFSC

## 7.2 - Índice de Refração

Para melhor entendimento sobre índice de refração, deve-se ter um conhecimento prévio das leis da refração estudadas no movimento ondulatório, que são igualmente válidas no movimento da luz. Você está convidado a fazer algumas análises, a partir da simulação abaixo (simulação 7.2.1), na qual não se mostra o raio de luz refletido, mas que na prática existe.



Simulação 7.2.1 - Simulando a refração da luz sem apresentar a reflexão da luz, que continua a existir.

Descrevendo-se abaixo, as relações visualizadas:

- o raio incidente (i), o raio refratado (r), e a reta normal (N) estão no mesmo plano.

- a luz no meio<sub>1</sub> possui uma velocidade v<sub>1</sub>, e no meio<sub>2</sub> uma velocidade v<sub>2</sub>, as quais dependem da frequência da luz que está atravessando os diferentes meios e do tipo material que compõem estes meios. Aproveitando-se do conceito válido para o movimento ondulatório (dedução do Princípio de Huygens), escreve-se:

$$\frac{\text{sen } \hat{A}_1}{\text{sen } \hat{A}_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

E levando-se em consideração, que o índice de refração absoluto (n) de um determinado meio homogêneo, é a proporção da velocidade de propagação da luz no vácuo (c) em relação à nova velocidade (v) que ela assume ao se propagar neste meio, obtêm-se:

$$n = \frac{c}{v}$$

Como temos dois meios diferentes (meio<sub>1</sub> e meio<sub>2</sub>) em nossa simulação (simulação 7.2.1), podemos afirmar que cada um deles apresenta um índice de refração para a luz, e que obedecem à seguinte relação:

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; n_2 = \frac{c}{v_2}$$

Permitindo que se escreva:

$$\frac{\text{sen } \hat{A}_1}{\text{sen } \hat{A}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

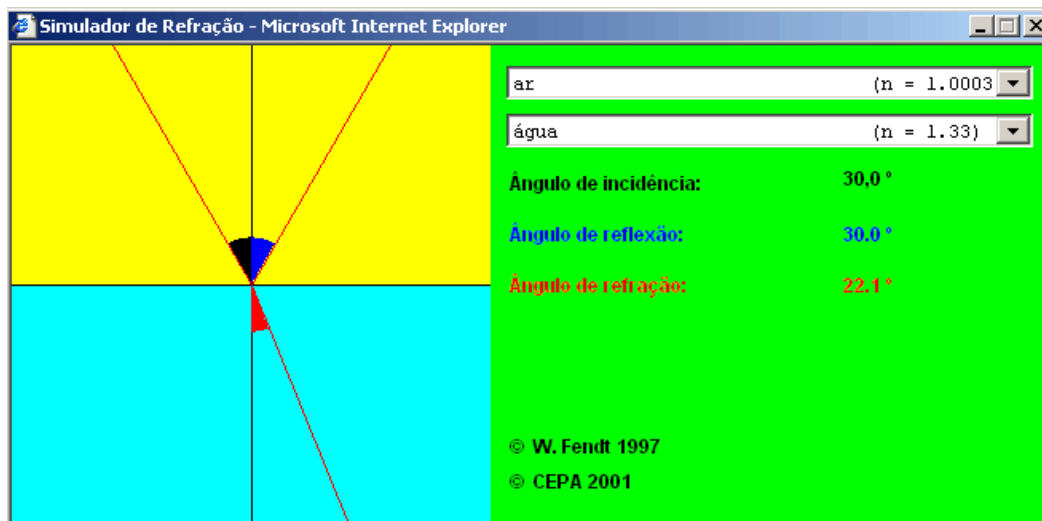
Portanto, chega-se à 2ª lei da refração:

$$n_1 \cdot \text{sen } \hat{A}_1 = n_2 \cdot \text{sen } \hat{A}_2$$

Também conhecida como lei de Snell-Descartes.

Abaixo você terá a oportunidade de simular a refração da luz, para meios com diferentes índices de refração (simulação 7.2.2).

**Como funciona o Applet:** Um raio de luz vindo da parte de cima à esquerda bate em uma superfície que divide dois meios. (É possível escolher as substâncias através das listas). O meio que tem maior índice de refração está em azul, o outro em amarelo. Você pode variar o raio incidente arrastando-o com o mouse. O applet mostra o raio refletido e refratado e então calculará os ângulos correspondentes.



Simulação 7.2.2 - Simulador de refração e reflexão da luz – desenvolvido por Walter Fendt e traduzido pela CEPA/IFUSP - <http://cepa.if.usp.br/walterfendt/>

Com auxílio do simulador ([clique aqui](http://cepa.if.usp.br/walterfendt/) para abrir o simulador) (simulador 7.2.2 - Simulador de refração e reflexão da luz – desenvolvido por Walter Fendt e traduzido pela CEPA/IFUSP - <http://cepa.if.usp.br/walterfendt/>) você deverá:

- simular a propagação da luz em dois meios com o mesmo material, o que você observa?
- observar o que acontece com o ângulo, formado pela luz refratada e a normal, à medida que você usa materiais com índices de refração maiores.
- o que acontece com o ângulo formado pela luz refratada e a normal, à medida que você afasta o raio de luz incidente da normal.

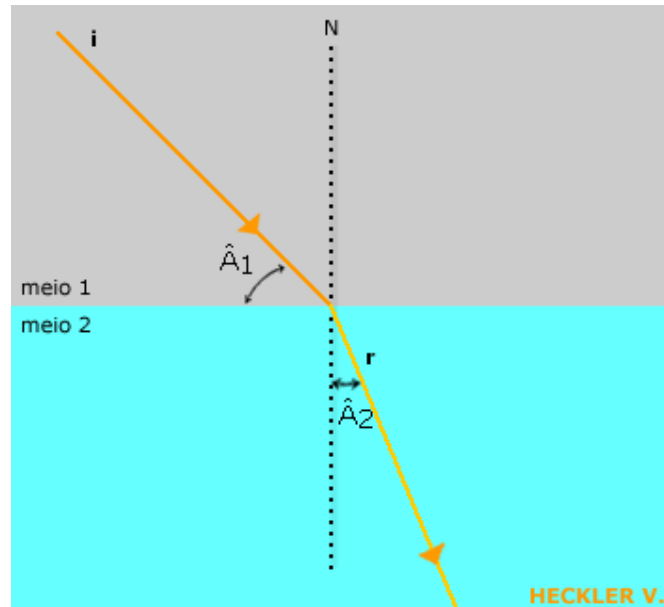
**Responda as questões abaixo:**

1- Ao incidir-se um feixe de luz (estreito) de uma certa distância sobre uma superfície de um bloco de vidro, com um ângulo igual a  $40^\circ$  em relação a uma reta normal imaginária, conseguiu-se medir um ângulo de refração igual a  $20^\circ$ . Levando em consideração, que o experimento foi realizado em local com índice de refração igual a 1 (ar). Determine:

- O valor do índice de refração do vidro.
- A velocidade de propagação da luz no referido vidro.

2- Na figura abaixo está representado um raio luminoso (i) propagando-se do meio 1 para o meio 2. Sabendo que a velocidade da luz, no meio 1, é 250 000 km/s e que o ângulo ( $\hat{A}_1$ ) vale  $20^\circ$ , calcule:

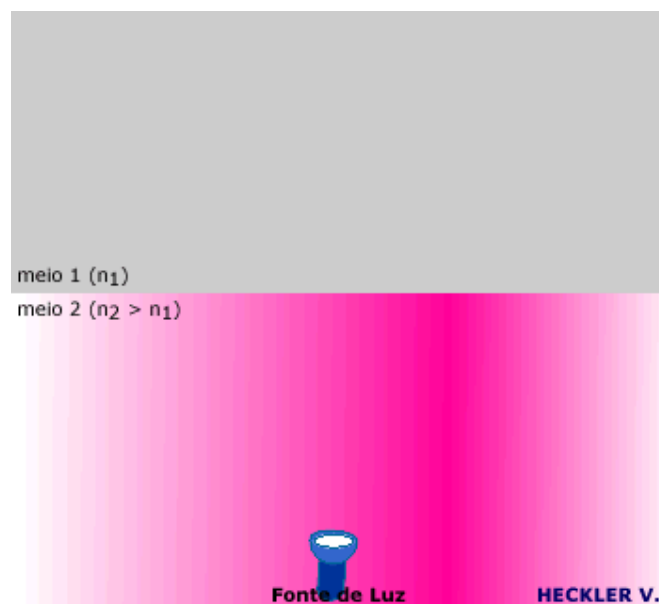
- o índice de refração relativo do meio 1 em relação ao meio 2;
- a velocidade de propagação da luz no meio 2.



### 7.3 - Reflexão Total

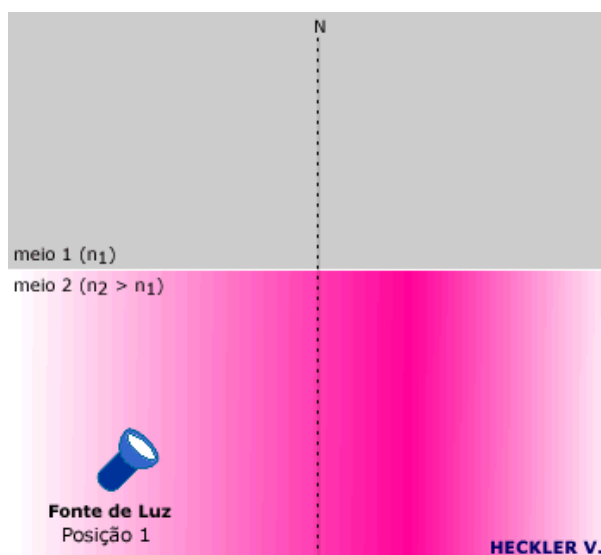
Para o estudo da reflexão total, se faz uma análise em três cenários de simulações diferentes, auxiliados por uma fonte de luz, que está localizado num meio 2, que por definição possui índice de refração ( $n_2$ ).

No primeiro caso, observa-se na simulação 7.3.1, uma fonte de luz emitindo seus raios, do meio 2 para o meio 1 que têm índice de refração ( $n_1$ ). Supondo-se que neste caso  $n_2$  é  $> n_1$ , ou seja, considera-se para a tal simulação (simulação 7.3.1), que a luz se propaga de um meio mais refringente para um meio menos refringente, observando-se que o raio de luz que incide normalmente à superfície não sofre desvio em sua trajetória.



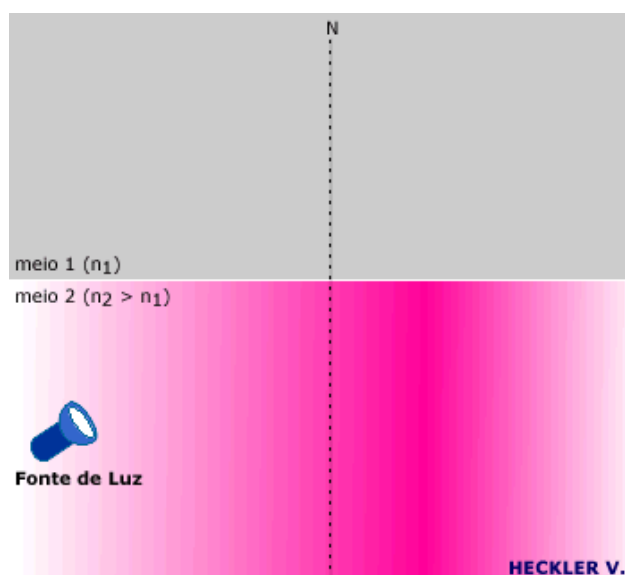
Simulação 7.3.1 - Simulando simultaneamente a reflexão e refração de luz.

No segundo cenário, trabalha-se com dois casos, ou seja, se posiciona a fonte em dois locais diferentes. Em ambos os posicionamentos da fonte, a propagação de luz (incidida pela fonte) é feita de forma oblíqua, levando-se em consideração que os dois meios (meio 1 e meio 2) apresentam as mesmas características da simulação anterior (simulação 7.3.1). Observa-se agora na simulação 7.3.2, que o ângulo de incidência da luz ( $i$ ) é menor do que ângulo de refração ( $r$ ), para posição 1 da fonte de luz. Outro fato importante que se visualiza, é que à medida que aumentamos o ângulo de incidência ( $i$ ), aumenta o ângulo de refração ( $r$ ), e a quantidade de luz refletida.



Simulação 7.3.2 - Simulando incidência de luz oblíqua, variando o ângulo de incidência ( $i$ ) e refração ( $r$ ).

Na simulação 7.3.3, se busca aumentar ainda mais o ângulo de incidência ( $i$ ) da luz em relação a reta normal, e visualiza-se que chegar-se-a a um ângulo limite (ângulo crítico), para os raios incidentes a partir do qual não haverá mais refração. O máximo valor do ângulo de incidência ( $i$ ), para o qual ocorre refração, corresponde à luz emergindo horizontalmente à superfície, onde  $r = 90^\circ$  conforme se observa na simulação 7.3.3.

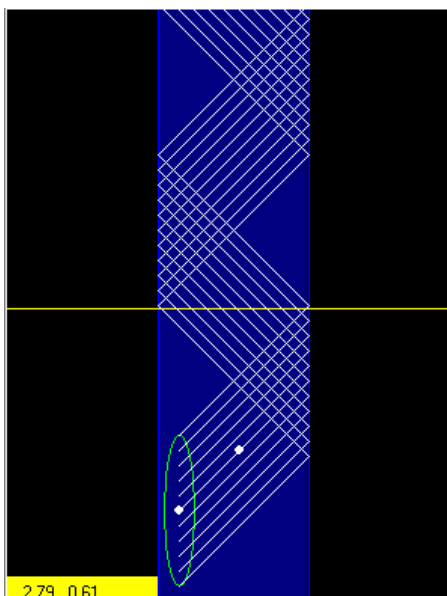


Simulação 7.3.3 - Simulando incidência de luz oblíqua, para um ângulo crítico ( $L$ ) e ângulo maior que  $L$ .

O ângulo de incidência ( $i$ ) para que aconteça a reflexão total, para o caso em que a luz passa do meio 2 para o meio 1, obedecendo as características dos meios utilizados nas simulações acima, pode ser determinado a partir da relação  $n_1 \cdot \text{sen}(i) = n_2 \cdot \text{sen}(r)$  (lei de Snell-Descartes), indicando-se aqui o ângulo crítico pela letra  $L$  ( $i=L$  e  $r=90^\circ$ ), substituindo-se na relação, obteremos o seno do ângulo limite  $L$ :  $n_1 \cdot \text{sen}(90^\circ) = n_2 \cdot \text{sen}(L)$ , o que corresponde:  $\text{sen}(L) = n_1/n_2$

A reflexão total acontece nas fibras óticas condutoras de luz, tendo aplicabilidade nos endoscópios para observar órgãos internos do corpo humano e nas telecomunicações. Esta reflexão evita perdas durante a condução de luz.

No simulador abaixo (simulação 7.5.3), um conjunto de raios em paralelo estão experimentando uma propagação para a direita sendo refracionados quando batem e deixam um meio refletor. As posições da fonte e do ângulo da fonte podem ser ajustadas clicando-se e arrastando o mouse. Observe o que acontece com os raios de luz à medida que aumenta o ângulo de incidência e verifique para qual valor os raios deixam o meio refletor.



Simulador 7.5.3- Simulador de um conjunto de raios - desenvolvido por Davidson College - <http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>

### Resolva as atividades abaixo:

- 1- Calcule o ângulo crítico ( $L$ ), a partir do qual não mais ocorre refração, quando a fonte de luz incidir luz do meio 1 (vidro) para o meio 2 (ar). Dados  $n_{\text{vidro}} = 1,5$  e  $n_{\text{ar}} = 1,0$ .
- 2- Explique usando conceitos de reflexão total o funcionamento das fibras óticas.
- 3- Usando a relação:  $\text{sen}(L) = n_1/n_2$ , explique para quais situações é possível obter reflexão total.
- 4- Para que haja reflexão total da luz, é necessário que o ângulo:
  - a) de incidência seja maior que o ângulo limite.
  - b) de refração seja igual ao ângulo limite.
  - c) limite seja o dobro do ângulo de incidência.
  - d) de incidência seja maior que o ângulo limite e que a incidência se dê do meio mais



refringente para o menos refringente.

e) de incidência seja maior que o ângulo limite e que a incidência se dê do meio menos refringente para o mais refringente.

Questão 4 do vestibular da UFPA

## 7.4 - Miragem

Pode-se afirmar que as famosas ilusões óticas estão presentes em nosso cotidiano, aborda-se em nosso estudo, uma das mais lembradas por nós, que são as miragens. Um exemplo freqüente para quem está viajando em dias quentes, pois em muitos momentos tem-se a nítida impressão, de que o asfalto está molhado, conforme representação na figura abaixo (figura 7.4.1), mas quando se chega mais próximo da região asfáltica que antes parecia molhada, nota-se então, que não passou de um simples fenômeno de miragem.



Figura 7.4.1 - Representação de uma miragem, devido à refração da luz.

Verifica-se que uma miragem, como a do exemplo do asfalto molhado, é devido a refração da luz solar. Quando a luz atravessa o ar mais quente e mais rarefeito (menos denso), próximo à superfície do asfalto, continua sua propagação em diversas camadas de ar que ficam menos quentes (mais densas), portanto, a luz solar refletida pelos diversos pontos do asfalto, se propaga em camadas com diferentes índices de refração, até atingir o olho do observador.

Na simulação 7.4.1, têm-se em uma região desértica um observador visualizando um objeto e sua imagem ao mesmo tempo. A luz refletida pelo objeto ao passar pelo ar, propaga-se em camadas com diferentes temperaturas, encurvando-se para cima, pois, a temperatura do ar é mais elevada quanto mais próximo da região do solo, ficando menos denso e menos refringente que o ar localizado nas camadas acima, ocorrendo a reflexão total com os raios de luz incidentes e em consequência a formação da miragem para o observador. Para tal análise considera-se que, a densidade do ar e o índice de refração são menores com o aumento da temperatura.



Simulação 7.4.1- Simulando a formação da miragem, a luz propaga-se mais rapidamente próximo ao solo onde a camada de ar é mais quente.

### Responda as questões abaixo:

1- Sabemos que a luz se propaga mais rapidamente no ar mais rarefeito, do que no ar mais denso. Explique de que forma esta diferença de rapidez de propagação tem a ver com a posição aparente do Sol, pois quando este se encontra próximo ao horizonte, parece mais alto no céu do que realmente está naquele momento?

2- Explique como surge uma miragem, destacando se o resultado é fruto da reflexão ou da refração.

## 7.5 - Dióptro plano

Estudou-se anteriormente, que quando a luz atravessa de um meio<sub>1</sub> com índice de refração  $n_1$  para um meio<sub>2</sub> de índice de refração  $n_2$ , e caso estes índices sejam diferentes, ocorre então o fenômeno da refração, conforme figura 7.5.1. Mas não se fez uma análise, do que acontece especificamente na superfície de separação desses dois meios, superfície esta chamada de dióptro.

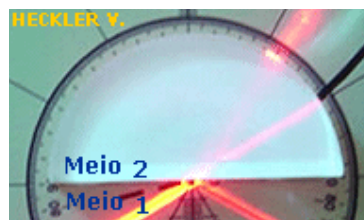
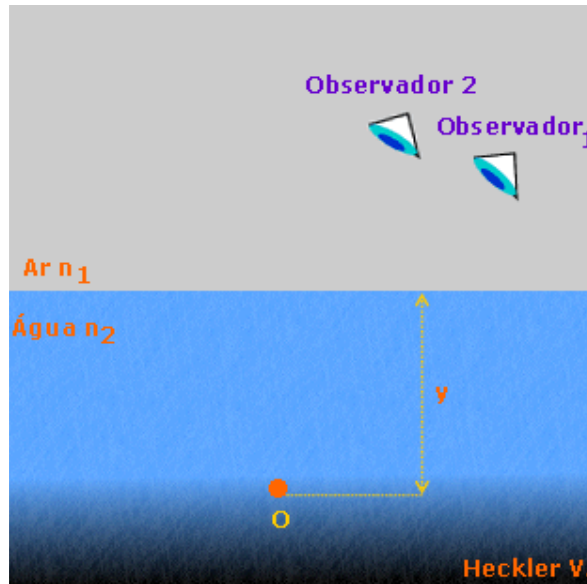


Figura 7.5.1 - Refração da luz em meios de diferentes índices de refração

Considera-se para fins de nosso estudo, que um sistema óptico estigmático é aquele em que um ponto objeto fornece um único ponto imagem, e quando **não for** um sistema óptico estigmático, forma a partir de um ponto objeto mais que um ponto imagem (suas imagens não são nítidas, ou são vistas em posições diferentes para observadores diferentes).



Simulação 7.5.1 - Simulando a formação de imagem de um ponto O, para dois observadores.

Na simulação 7.5.1, têm-se um objeto (O) imerso em água a distância ( $y$ ) da superfície (dióptro) que separa a água do ar, meio no qual estão dois observadores (observador 2 e observador 1). O observador 1 vê uma imagem do objeto na posição ( $O''$ ), ao passo que o observador 2 vê a imagem do objeto na posição ( $O'$ ). Portanto o dióptro da simulação acima não é estigmático, pois a partir de um objeto (O), pode-se obter diferentes imagens ( $O'$  e  $O''$ ), para observadores localizados em regiões diferentes.

Na prática, quando se têm raios de luz incidentes na superfície com ângulos pequenos ( $\hat{A}$ ), menores que  $10^\circ$ , forma-se uma única imagem ( $O'$ ), a partir do objeto (O), portanto, neste caso considera-se o dióptro estigmático para o observador da figura abaixo (figura 7.5.2).

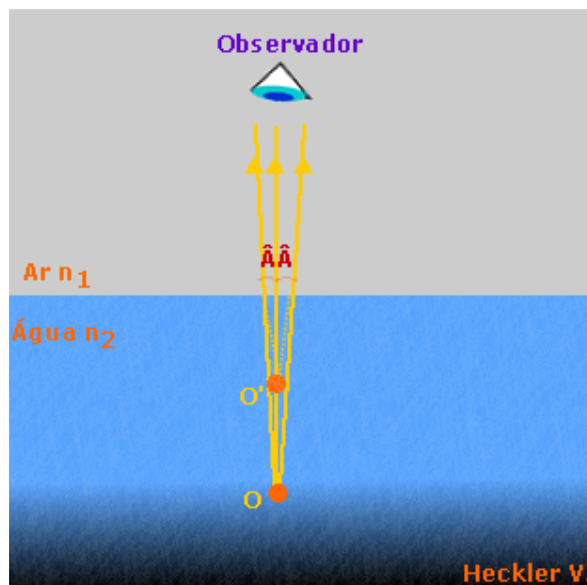


Figura 7.5.2 - Para ângulos de incidência da luz ( $\hat{A}$ ) menores que  $10^\circ$  forma-se uma única imagem.

Levando-se em consideração o estudo de reflexão total (item 7.3), sabe-se que o dióptro plano, só produz imagens dentro da região delimitada por um ângulo-crítico (limite), fora

dessa região somente acontece o fenômeno da reflexão, conforme representação feita na figura 7.5.3, e neste caso, o observador não enxergará o objeto.

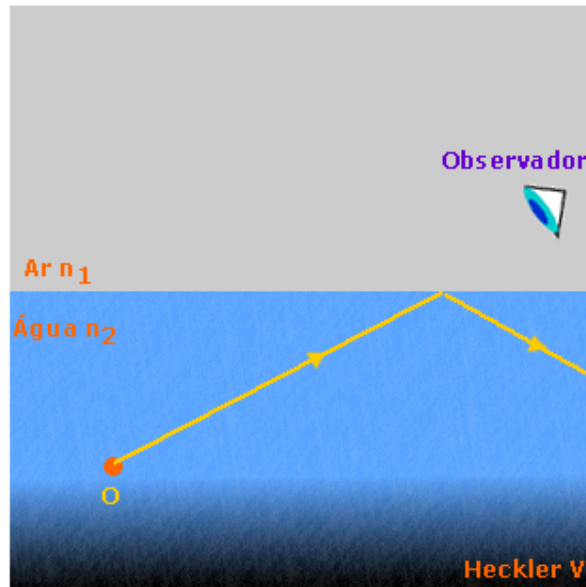


Figura 7.5.3 - O dióptro plano não produz imagens fora da região do ângulo limite.

Admitindo-se a condição de estigmatismo na figura abaixo (figura 7.5.4), ou seja, considerando que  $\hat{A}_2$  é pequeno ( $< 10^\circ$ ), podemos escrever:  $n_2/y = n_1/y'$ , sendo esta relação conhecida como equação do dióptro plano.

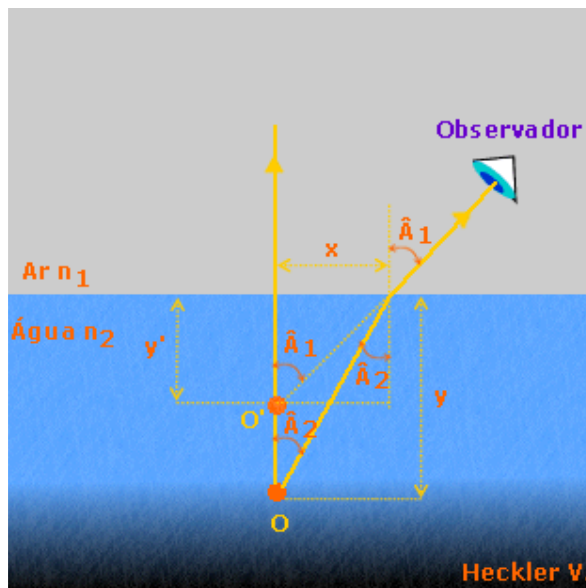
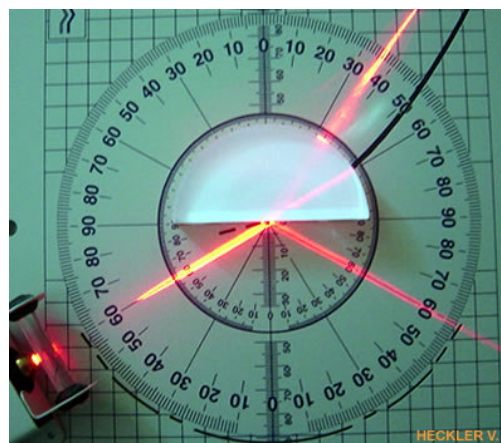
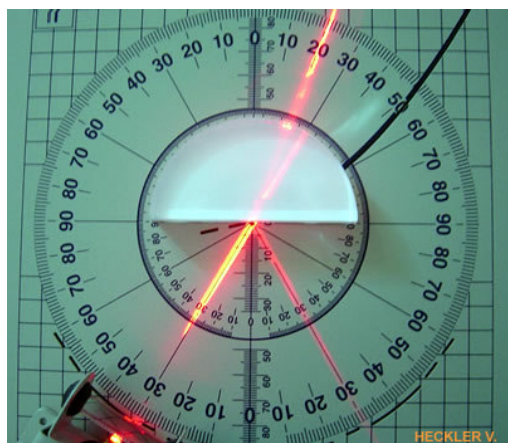


Figura 7.5.4 - Representação das relações angulares do dióptro plano.

Deixa-se um desafio para você, o de demonstrar a validade da relação  $n_2/y = n_1/y'$ , a partir das relações trigonométricas visualizadas na figura 7.5.4, e da aplicação da lei de Snell-Descartes ( $n_1 \cdot \text{sen } \hat{A}_1 = n_2 \cdot \text{sen } \hat{A}_2$ ).

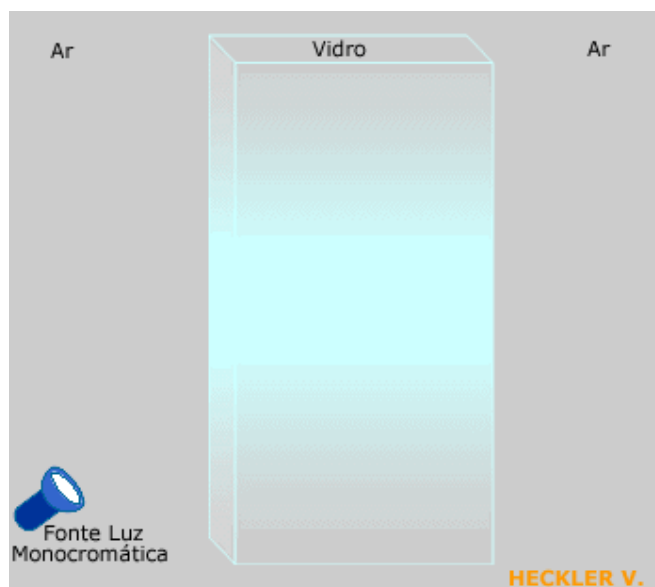
**Questão a ser resolvida:**

1- Nas imagens abaixo uma fonte de luz incide num dioptra plano (semicilindrico), nos respectivos casos a incidência de luz é feita com ângulos diferentes. Aplique os conceitos físicos estudados até aqui e explique porque ocorre o fenômeno da refração e reflexão.



## 7.6 - Lâminas de Faces Paralelas

Na simulação 7.6.1, analisa-se uma lâmina de faces paralelas, imersa no ar (placa de vidro no ar). Observa-se que o raio de luz incidente na primeira face da lâmina e o raio de luz emergente da segunda face, possuem a mesma direção, porém existe um pequeno deslocamento ( $d$ ) entre eles.



Simulação 7.6.1 - O raio de luz monocromático, atravessando uma lâmina de faces paralelas.

No caso descrito acima, considera-se que a incidência de luz é em uma das faces da lâmina (lâmina de faces paralelas), que a espessura da mesma é igual a  $e$ , que o raio de luz incide na lâmina com um ângulo  $i_1$  e sofre refração num ângulo ( $i_2$ ), conforme demonstrado na figura abaixo (figura 7.6.1). De acordo com a segunda Lei de Refração:

$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$ , onde  $n_1$  representa o índice de refração absoluto da lâmina de vidro e  $n_2$  o índice de refração absoluto do ar.

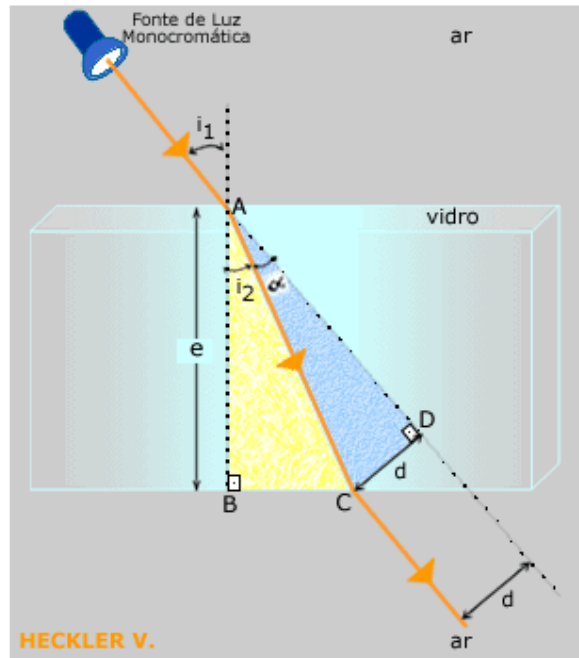


Figura 7.6.1 - Representação das relações trigonométricas existentes no caminho da luz ao atravessar uma lâmina.

Aplicando-se os conhecimentos de trigonometria, e dos dados expostos na figura acima (figura 7.6.1), pode-se determinar a relação existente entre o deslocamento (**d**) do raio de luz emergente e a espessura da lâmina (**e**). Observa-se inicialmente que no triângulo (amarelo) ABC, se têm:  $\cos(i_2) = e/AC$ , logo  $AC = e/\cos(i_2)$ , considerado aqui como equação (I);

Para o segundo triângulo (Azul) ADC, se têm:  $\sin(\alpha) = d/AC$ , onde:  $\alpha = (i_1 - i_2)$ , portanto:  $\sin(i_1 - i_2) = d/AC$ , e assim  $d = AC \cdot \sin(i_1 - i_2)$ , que é a equação (II).

Substituindo-se a equação (I) em (II), têm-se que:

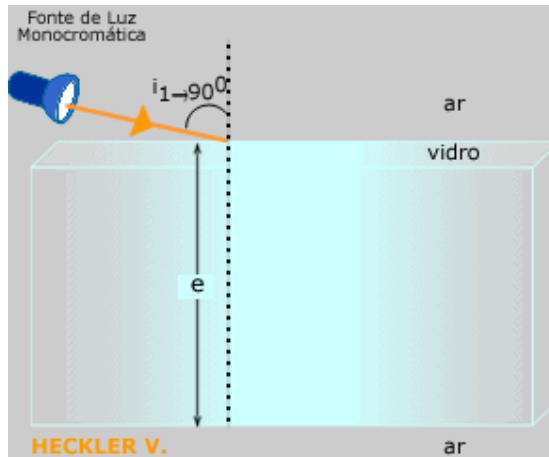
$$d = \frac{e \cdot \sin(i_1 - i_2)}{\cos(i_2)}$$

A partir da equação pode observar-se que o deslocamento lateral (**d**) é diretamente proporcional à espessura da lâmina (**e**).

**Resolva as questões abaixo:**

1- Explique o que acontece com o deslocamento lateral do raio de luz emergente, de uma lâmina de face paralela de vidro, ao incidirmos luz monocromática com ângulo de incidência  $i_1 = 0$ .

2- Utilizando a equação do deslocamento lateral (**d**), explique o que acontece com o deslocamento lateral quando o raio de luz incide, e o ângulo de incidência  $i_1$  tende a  $90^\circ$ , conforme figura abaixo.



## 7.7 - Prismas

Até aqui, se estudou sobre lâminas com faces paralelas, ou seja, corpos transparentes de faces paralelas, onde se observa um pequeno deslocamento do raio de luz emergente, sem sofrer desvio em sua direção em relação ao raio incidente. Mas o que irá acontecer, caso incidirmos luz sobre um corpo transparente, em que as faces não sejam paralelas (exemplo um prisma)?

Para responder a esta pergunta, precisa-se inicialmente considerar que em nossos estudos até aqui, usou-se nos exemplos apenas luz monocromática, mas sabe-se que a maioria dos fenômenos óticos envolve a luz policromática, composta por várias frequências, ou seja, diferentes cores. Um exemplo de luz policromática é a luz branca (luz solar).

Na simulação 7.7.1, se incide luz branca (policromática) sobre um prisma. Observa-se que o vidro (prisma) apresenta um maior índice de refração para a luz violeta e ela então se aproxima mais da normal, enquanto a luz vermelha sofre menor refração, ficando mais afastada da normal. Verifica-se, portanto, que o índice de refração da luz, está associado à frequência das cores, pois se visualiza que a luz violeta sofre um maior desvio e a luz vermelha menor, e entre as duas existem as outras cores, consideradas as intermediárias, demonstradas na simulação (7.7.1), onde se mostra também, que na verdade a luz branca sofre dois desvios, apresentando-se mais claramente assim, o fenômeno da dispersão da luz.



Simulação 7.7.1 - Simulando a dispersão da luz branca no prisma de faces paralelas.

Para entender-se o que acontece com os raios incidentes e emergentes do prisma, analisa-se a trajetória de um raio de luz monocromática, em um prisma triangular, demonstrado na figura abaixo (figura 7.7.1).

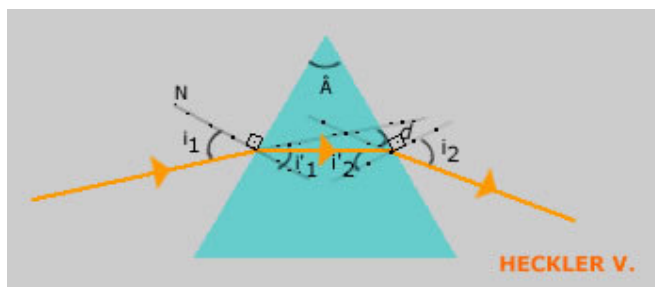


Figura 7.7.1 - Representação da trajetória de um raio de luz incidindo em um prisma.

Ao considerar-se na figura (figura 7.7.1),  $i_1$  e  $i_2$  como sendo os ângulos de incidência e emergência do raio de luz que percorrem um ângulo  $\hat{A}$  (ângulo de refringência) entre as faces do prisma, observa-se que o ângulo de desvio ( $d$ ) sofrido pelo raio pode ser expresso, por:

$$d = (i_1 + i_2 - \hat{A}),$$

e em contrapartida pode-se afirmar que

$$\hat{A} = i'_1 + i'_2.$$

Associando-se a Lei da Refração ( $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$ ), estudada anteriormente, pode-se calcular o desvio do raio de luz.

### Responda as questões abaixo:

- 1- Busque pesquisar sobre as principais vantagens de utilizarmos prismas, ao invés de usarmos espelhos.
- 2- Explique porque ocorre o fenômeno da dispersão da luz branca num prisma de dispersão.

## LENTEES ESFÉRICAS

### 8.1- Elementos das Lentes Esféricas

As lentes esféricas estão presentes no nosso cotidiano, em aparelhos como óculos, equipamentos de projeção, microscópios, telescópios, câmeras filmadoras, máquinas fotográficas, sem esquecer que o cristalino do nosso olho humano, também funciona como uma lente esférica.



Apresenta-se na figura 8.1.1, seis tipos de lentes, classificadas de acordo com os seus perfis transversais: lentes esféricas de bordas delgadas (biconvexa, plano-convexa, côncava-convexa), ou lentes de bordas espessas (bicôncava, plano-côncava, convexo-côncava). Quando colocadas em meios com índices de refração menores que o seu próprio índice de refração, as lentes de bordas delgadas atuam como lentes convergentes (convexas) e as lentes de bordas espessas são divergentes (côncavas).

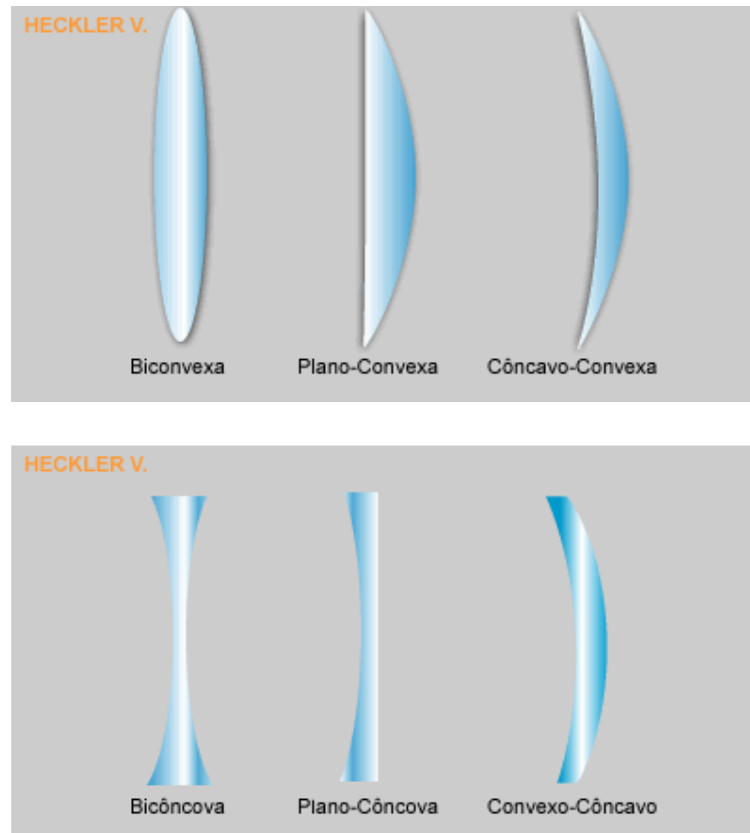
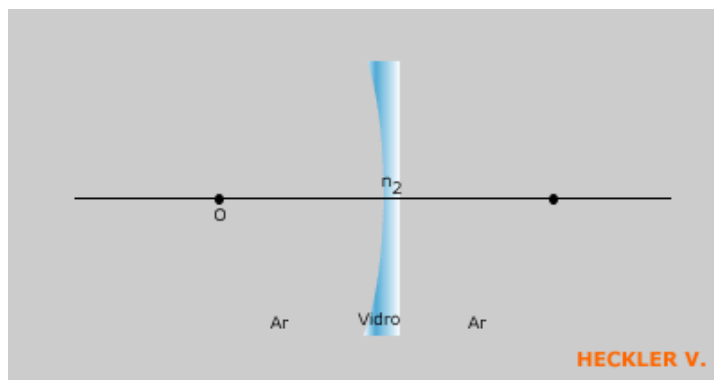
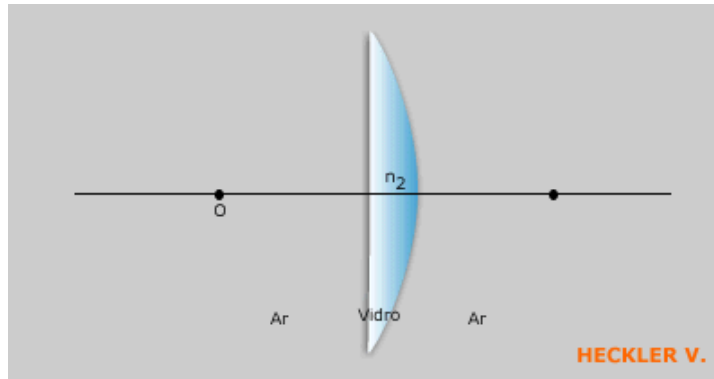


Figura 8.1.1 - Representação dos perfis das lentes esféricas de bordos delgados e bordos espessos.

Observa-se na simulação 8.1.1, que os raios de luz, ao passarem pelas lentes convexas e côncavas sofrem convergência ou desvio de seus raios no interior da lente, após atravessarem as lentes sofrem uma nova convergência ou desvio, devido os diferentes índices de refração do meio e do material do qual é composta a lente. Visualiza-se nesta simulação (simulação 8.1.1), que os raios de luz se propagam inicialmente de um meio 1 (ar) para meio 2 (vidro), e depois do meio 2 (vidro) para meio 1 (ar), sofrendo convergência dos raios de luz, no caso da lente plano-convexa (lente convergente) e divergência na lente plano-côncava (lente divergente).



Simulação 8.1.1 - Propagação dos raios de luz que atravessam a lente plano-convexa e plano côncava.

Para se definir os elementos geométricos de uma lente esférica, os quais serão importantes para continuarmos nosso estudo, usa-se em nosso exemplo uma lente esférica biconvexa. Considerando-se que esta lente possua um índice de refração ( $n_2$ ) e esteja imersa num meio de índice de refração ( $n_1$ ), observa-se os elementos representados na figura 8.1.2.

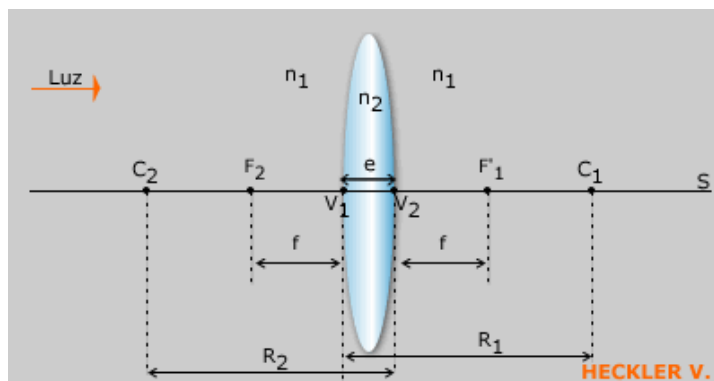


Figura 8.1.2 - Representação dos elementos das lentes esféricas.

onde:

**s** é o eixo principal, reta comum aos centros de curvatura  $C_1$  e  $C_2$ .

$C_1$  e  $C_2$  são os centros de curvatura das faces da lente, conhecidos também como pontos antiprincipais de objeto.

$V_1$  e  $V_2$  são os vértices das faces, onde acontece a intersecção do eixo principal com as faces.

$F_2$  é o foco principal objeto e  $F'_1$  é o foco principal imagem.

$f$  é a distância focal.

$e$  é a espessura da lente, que é igual a distância entre os vértices.

Neste estudo sobre lentes, se representa as lentes por um segmento de reta perpendicular ao eixo principal, sem mostrar o trajeto luminoso no interior das mesmas (figura 8.1.3), pois concentra-se as explicações em lentes delgadas, ou seja, com espessura pequena comparadas aos raios de curvatura das faces esféricas.

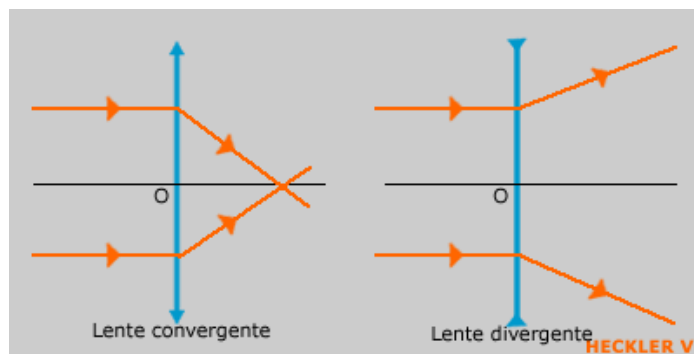
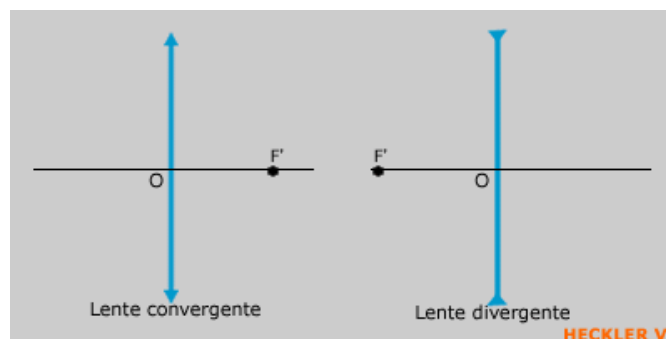


Figura 8.1.3 - Esquema da representação das lentes delgadas convergente e divergentes.

## 8.2 - Construção Gráfica de Imagens

Da mesma forma que no estudo sobre espelhos esféricos, onde se determinou graficamente a posição e altura de uma imagem de um certo objeto, igualmente se construirá com as lentes esféricas.

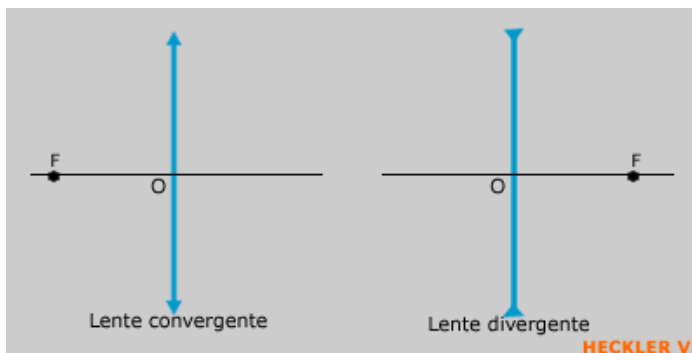
Mas antes de construir-se imagens conjugadas pelas lentes, precisa-se fazer o estudo, sobre como se comportam os raios luminosos ao atravessarem lentes delgadas convergentes e divergentes.



Simulação 8.2.1 - Simulação da convergência e da divergência dos raios emergentes de lentes delgadas.

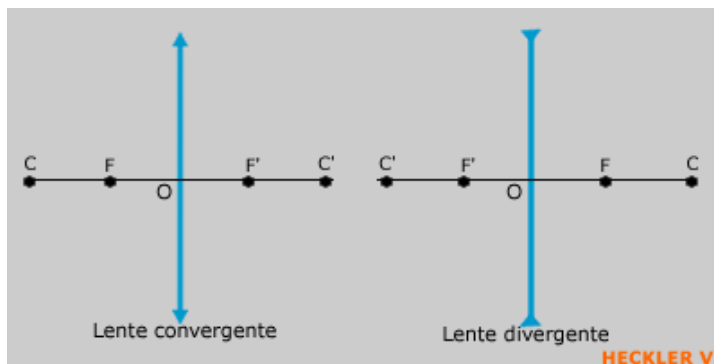
Observa-se na simulação acima (simulação 8.2.1), que os raios de luz incidentes paralelamente ao eixo principal, refratam os raios emergentes numa direção que contém  $F'$ , onde  $F'$  é denominado foco principal imagem, tendo natureza real, para a lente delgada convergente, e virtual, para as divergentes. O ponto  $O$  representa o centro óptico da lente.

Para o caso em que os raios luminosos incidirem numa direção que passa pelo foco principal objeto, representado por  $F$ , o qual possui natureza real, para as lentes convergentes, e virtual, para as divergentes, os raios refratados emergem paralelamente ao eixo principal, conforme a simulação abaixo (simulação 8.2.2).



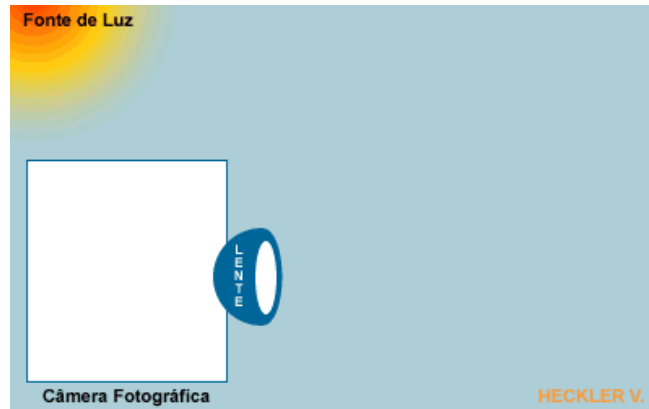
Simulação 8.2.2 - Simulação da incidência dos raios luminosos que passam pelo foco das lentes delgadas.

Abaixo se simula (simulação 8.2.3), outros dois raios que possuem comportamento diferenciado, inicialmente observa-se o raio de luz que incide passando pelo centro óptico  $O$ , atravessando a lente sem sofrer desvio, e o raio que incide na lente numa direção que passa pelo ponto antiprincipal  $C$ , tendo o raio refratado correspondente emergindo numa direção que passa pelo ponto antiprincipal  $C'$ .



Simulação 8.2.3 - Simulação da incidência dos raios luminosos no centro óptico e ponto antiprincipal das lentes delgadas.

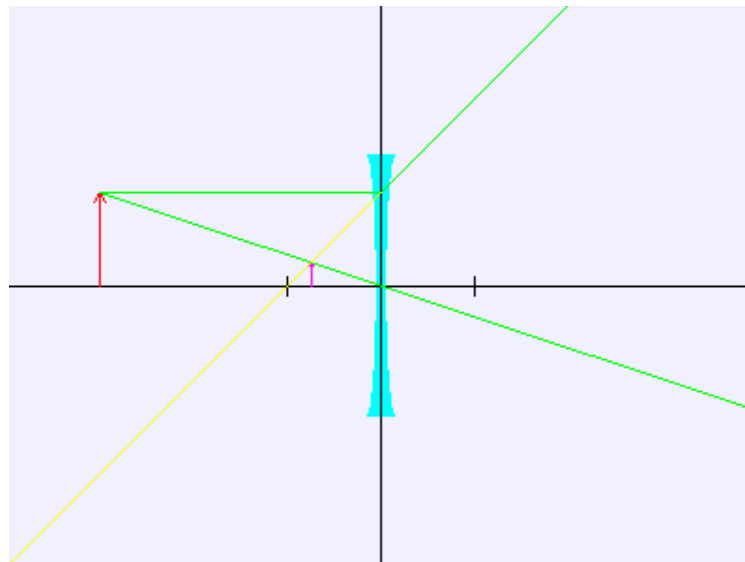
Abaixo, mostra-se na simulação 8.2.4, uma imagem real formada pela lente convergente, exemplo de uma máquina fotográfica. A imagem projetada no filme é real, invertida e menor que o objeto.



Simulação 8.2.4 - Simulando a formação de uma imagem real, invertida e menor com uma lente convergente.

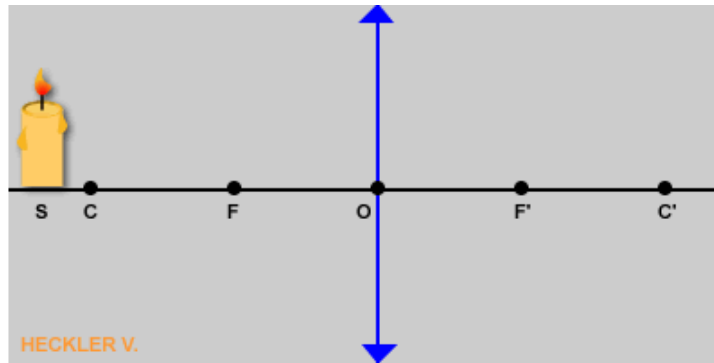
A formação de imagens nas lentes depende da posição em que o objeto é colocado em relação à lente e do tipo de lente que está sendo usado. Analisa-se inicialmente o caso de uma lente divergente. Com auxílio do simulador (simulação 8.2.5), observa-se que para qualquer que seja a posição do objeto em relação à lente, a imagem formada é sempre virtual, direita e menor do que o objeto.

**Como usar o Applet?** - Clique com o mouse no objeto em vermelho e mude sua posição em relação à lente.



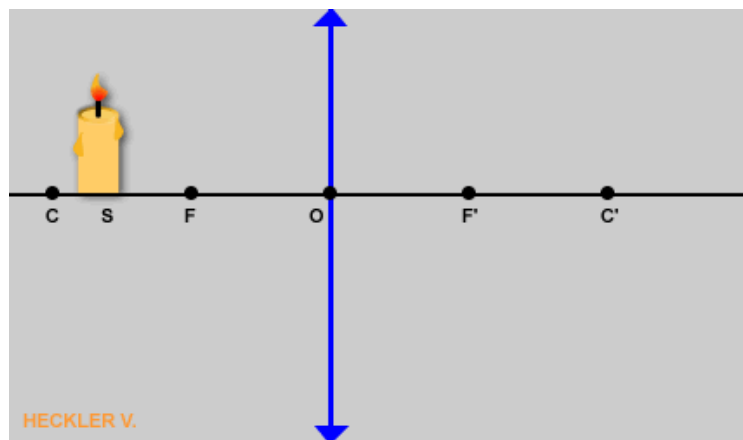
Simulação 8.2.5 - Simulador interativo que permite observar a formação de imagem por uma lente divergente. Desenvolvido por Sadahisa Kamikawa - [http://www.bekkoame.ne.jp/~kamikawa/cavelens/cavele\\_e.htm](http://www.bekkoame.ne.jp/~kamikawa/cavelens/cavele_e.htm).

A seqüência de simulações se refere, aos casos de objetos em diferentes posições, para a lente convergente:



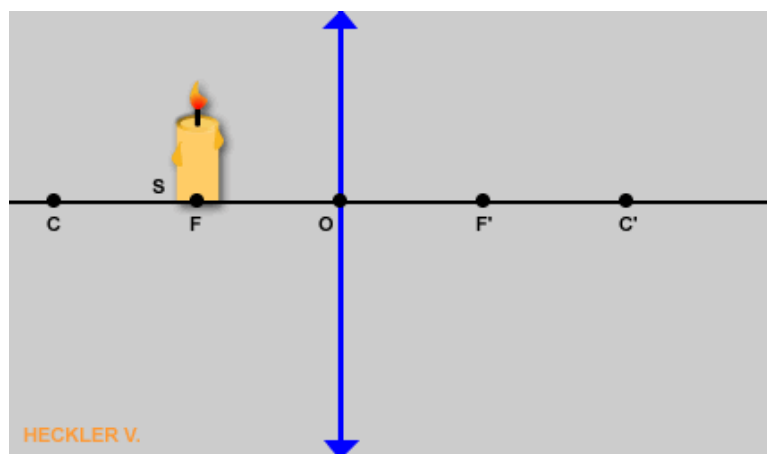
Simulação 8.2.5 - Simulando a formação da imagem para objeto localizado antes do ponto antiprincipal C.

Observa-se na simulação acima (simulação 8.2.5), um objeto (s) situado antes do ponto principal **C** de um a lente convergente, obtêm-se para o caso, a formação de uma imagem real, invertida e menor que o objeto.



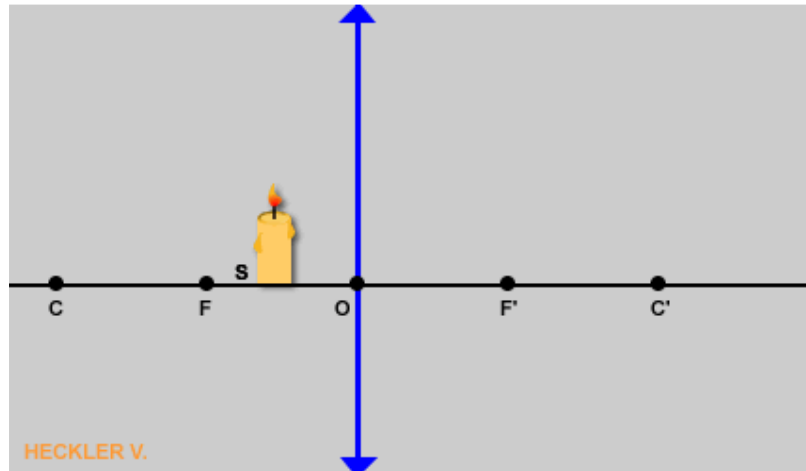
Simulação 8.2.6 - Simulando a formação da imagem para objeto localizado entre o ponto antiprincipal C e o foco principal objeto F.

Ao posicionar-se o objeto (s), entre o ponto antiprincipal **C** e o foco principal objeto **F**, haverá a formação de uma imagem real, invertida e maior do que o objeto, conforme a simulação acima (simulação 8.2.6).



Simulação 8.2.7 - Simulando a possível formação da imagem para objeto localizado no foco principal objeto F.

O caso acima merece uma atenção especial (simulação 8.2.7), pois se observa que o objeto (s) está localizado no foco principal objeto (F), não existindo a formação de uma imagem própria, nota-se que os raios emergentes são paralelos, formam a imagem no infinito, portanto sendo denominada imagem imprópria.



Simulação 8.2.8 - Simulando a formação da imagem para objeto localizado entre foco principal objeto F e o centro óptico O.

Ao posicionar-se um objeto (s) entre o foco principal objeto **F** e o centro óptico **O**, de uma lente divergente, conforme a simulação (simulação 8.2.8), obtêm-se a formação de imagem virtual, direita e maior do que o objeto.

### 8.3 - Convergência de Lentes

Quando se escuta comentários do tipo: "Eu uso lente mais **"forte"** para olho esquerdo e lente mais **"fraca"** para olho direito", trata-se de um caso onde o significado físico do mais "forte" é o poder que a lente possui em alterar a trajetória da luz. Este efeito produzido pela lente é conhecido em física por **convergência** ou **vergência** (C), dada pela relação:

$$C = \frac{1}{f}$$

Para a distância focal, usa-se a medida em metros, aplicando-se na equação acima, obtêm-se a unidade para  $C = m^{-1}$ , a qual é conhecida por dioptria, cujo o símbolo é di, que popularmente é conhecido como sendo o grau de uma lente.

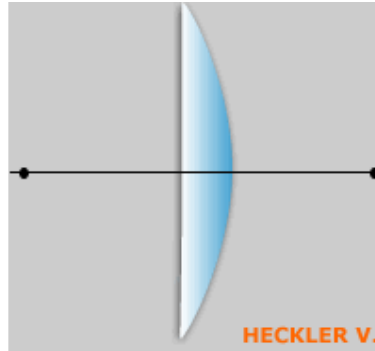


Figura 8.3.1 - Uma lente esférica, com índice de refração  $n$ , e os raios de curvatura  $R_1$  e  $R_2$  de suas faces.

Na figura acima (figura 8.3.1), apresenta-se uma lente esférica. Chamando o seu índice de refração absoluto de  $n$ , e os raios de curvatura de suas faces  $R_1$  e  $R_2$ , a equação válida para os fabricantes de lentes, é:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Ao associar-se a equação da convergência à equação dos fabricantes de lentes, pode-se escrever:

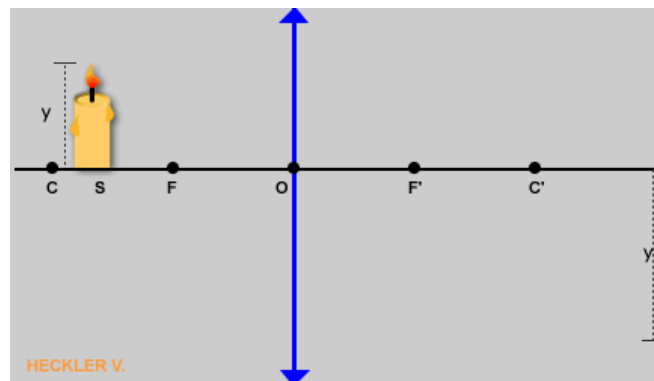
$$C = (n-1) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Definiu-se anteriormente no estudo de espelhos curvos, a equação de conjugação, sendo a mesma válida para as lentes esféricas, onde  $D_o$  é a abscissa do objeto e  $D_i$  a abscissa da imagem.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

### 8.3.1 - Relação entre altura do objeto e da imagem

Observa-se que as lentes esféricas conjugam, o objeto com imagem de tamanho diferente, na simulação abaixo se representa o objeto de tamanho  $y$ , conjugando uma imagem de tamanho  $y'$ . Adotou-se para o caso,  $y$  positivo (para cima) e onde  $D_o$  é a abscissa e  $y'$  a altura da imagem com abscissa  $D_i$  (simulação 8.3.1).



Simulação 8.3.1 - Simulando a formação de uma imagem através de uma lente convergente.



Para o caso da altura do objeto e altura da imagem, pode-se relacionar:

$$\frac{y'}{y} = - \frac{D_i}{D_o}$$

Também se pode definir que o **Aumento linear transversal A**, pela relação:

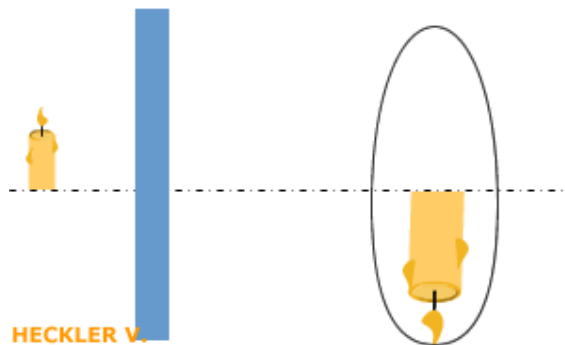
$$A = \frac{y'}{y}$$

### Resolva as questões abaixo:

1- Um objeto real se encontra na frente de uma lente esférica delgada. Sabe-se que a imagem formada é real e se encontra a 30 cm da lente e que a distância entre o objeto e a imagem é 50 cm.

- ( ) A lente é convergente.
- ( ) Sua distância focal é de 12 cm.
- ( ) A propriedade segundo a qual o índice de refração varia com o comprimento de onda é chamada de dispersão.
- ( ) Em um meio homogêneo, a luz sempre se propaga em linha reta.
- ( ) O índice de refração absoluto de um meio é inversamente proporcional à velocidade da luz, no meio, e é sempre menor do que 1.

2- O esquema abaixo mostra a imagem projetada sobre uma tela, utilizando um único instrumento óptico "escondido" pelo retângulo sombreado. O tamanho da imagem obtida é igual a duas vezes o tamanho do objeto que se encontra a 15 cm do instrumento óptico.



Nessas condições, podemos afirmar que o retângulo esconde:

- a) um espelho côncavo, e a distância da tela ao espelho é de 30 cm.
- b) uma lente convergente, e a distância da tela à lente é de 45 cm.
- c) uma lente divergente, e a distância da tela à lente é de 30 cm.
- d) uma lente convergente, e a distância da tela à lente é de 30 cm.
- e) um espelho côncavo, e a distância da tela ao espelho é de 45 cm.

3- Uma lente convergente tem distância focal de 20 cm. A sua vergência, em dioptrias, vale:

- a) 5,0
- b) 2,0
- c) - 0,50
- d) - 2,0
- e) - 5,0

4- Em optometria, o "grau" de uma lente de óculos é a sua convergência ou potência P, dada pelo inverso da sua distância focal f ( $p = 1/f$ ). Se f é dada em metros, a convergência é dada em

dioptrias (di). Se o ponto próximo de uma pessoa se encontra a 2,0 m de seus olhos, ela necessita de óculos de leitura. Supondo que o texto a ser lido seja colocado a 25 cm de distância, a pessoa necessita de óculos de "grau":

- a) 3,5 di.
- b) 2,0 di.
- c) 2,5 di.
- d) 0,5 di.
- e) 4,5 di.

Questões acima são dos seguintes vestibulares:

Questão 1 - Unicap-PE

Questão 2 - UFPel

Questão 3 - UFSE

Questão 4 - PUC-PR

## 8.4 - Globo Ocular

O estudo dos conceitos óticos que envolvem o olho humano é fascinante, ao olhar a nossa volta, nota-se que temos uma grande interação com o mundo, graças a um de nossos mais importantes sentidos: a visão. Através dos olhos se visualiza os diferentes objetos, suas formas, as cores, os tamanhos, os seus respectivos movimentos. O mundo que nos cerca, objetos, animais, plantas, pessoas, os quais enviam ou refletem a luz aos nossos olhos, podendo-se inclusive afirmar que a maior parte do desenvolvimento intelectual do homem se dá através da observação visual.



Figura 8.4.1 - A luz emitida pela paisagem é absorvida pelo nosso olho e convertida em impulsos elétricos.

Certamente, você gostou de observar a paisagem acima (Figura 8.4.1), mas como enxergamos a mesma? Pode-se afirmar que os nossos olhos são receptores de luz da paisagem, os quais convertem esta energia luminosa em sinais elétricos, que são enviados pelas fibras nervosas ao cérebro, onde são interpretados.

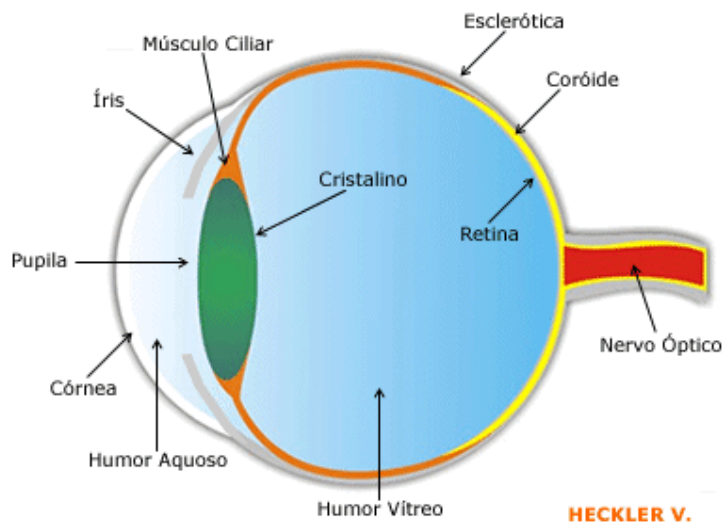
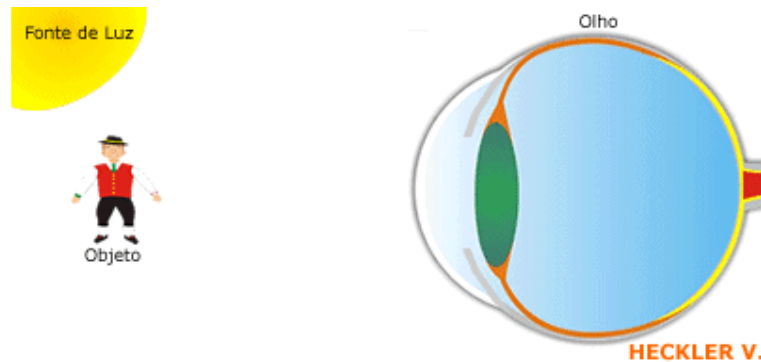


Figura 8.4.2 - Representação do globo ocular, elemento básico da nossa visão.

Na figura acima (figura 8.4.2), observa-se uma representação simplificada do globo ocular, elemento básico da nossa visão, com o formato de duas calotas esféricas, apresentando na parte frontal uma membrana transparente chamada córnea, que é uma saliência convexa transparente, a esclerótica em sua junção com a córnea, nos apresenta a íris, que é composto por uma abertura, semelhante a um diafragma, a qual regula a abertura, conhecida como pupila, cuja função, é graduar a quantidade de luz que penetra no olho. Depois da pupila observa-se o cristalino, uma lente gelatinosa biconvexa (aproximadamente do tamanho de um grão de feijão), deformável pela ação dos músculos ciliares, cuja função é alterar a vergência da luz, adequando o sistema ocular à visão de objetos a diferentes distâncias. A outra calota, oposta ao cristalino, é opaca e formada por três camadas: a esclerótica, que é mais externa e dá sustentação ao olho; no fundo do olho, fica a retina, que é interna, sendo uma membrana semi-transparente constituída por terminações do nervo óptico e aderida fracamente à coróide, que é a camada intermediária, irrigada por vasos sanguíneos.

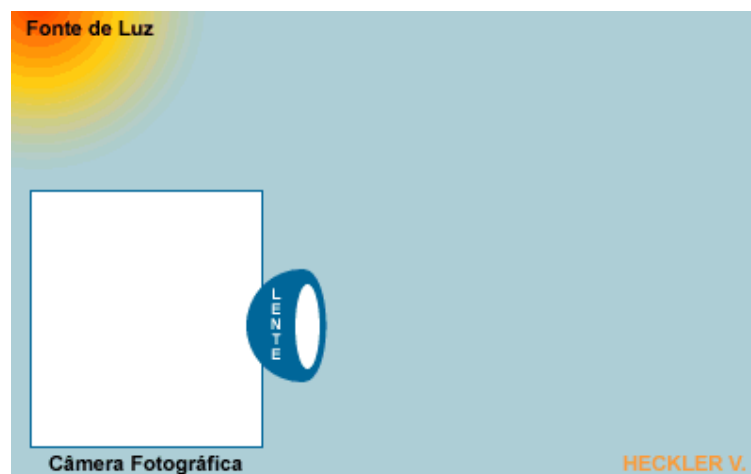
O humor aquoso e humor vítreo são substâncias gelatinosas transparentes, que preenchem o globo ocular, formando juntamente com o cristalino, um sistema de lentes.

Na simulação 8.4.1, verifica-se que a luz proveniente de um objeto sofre seu maior desvio ao passar do ar para a córnea (índice de refração  $\cong 1,38$ ) e ao atravessar o humor aquoso (índice de refração  $\cong 1,34$ ). A luz ao continuar seu percurso, têm sua intensidade controlada pela íris e pupila, chegando na lente biconvexa (índice de refração  $\cong 1,4$ ), onde a luz é convergida e focalizada sobre a retina (acomodação visual).



Simulação 8.4.1 - Simulando a trajetória de alguns raios de luz refletidos no olho, formando a imagem na retina.

Portanto, observa-se a formação de uma imagem real, invertida e reduzida sobre a retina. A retina é composta por células nervosas (cones e bastonetes), fotorreceptores que funcionam como sensores, transportando ao cérebro via nervo óptico os sinais elétricos. Pode-se fazer a analogia do olho humano a uma máquina fotográfica, que também possui uma lente a qual faz os raios de luz convergirem para o filme da máquina, absorvendo toda a luz (simulação 8.4.2), no olho a luz é absorvida totalmente pela coróide.



Simulação 8.4.2 - Simulando a trajetória de alguns raios de luz refletidos na máquina fotográfica, formando a imagem no filme.

## 8.5 - Defeitos da Visão

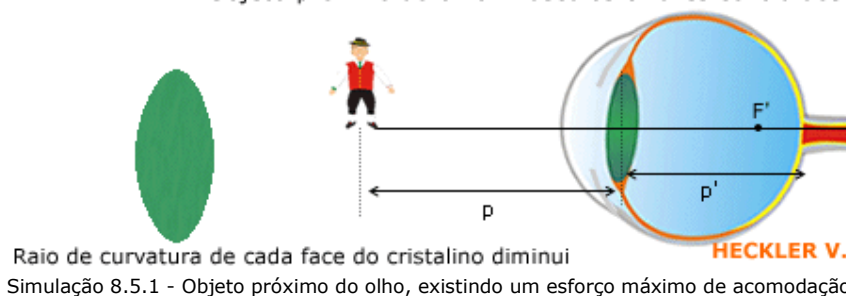
O olho humano pode sofrer alterações em sua estrutura, resultando em defeitos de visão, entre os quais os mais comuns são miopia, hipermetropia, astigmatismo, presbiopia e estrabismo. Faz-se aqui um estudo mais detalhado dos dois primeiros e apenas alguns comentários sobre os outros.

Um ser humano que possui uma visão normal é capaz de focalizar na retina, objetos localizados desde uma distância média convencional de 25 cm, até o infinito. Tal fato, só é possível porque o cristalino é constituído de material flexível, tendo a capacidade de variar a curvatura de suas faces através da contração dos músculos ciliares.

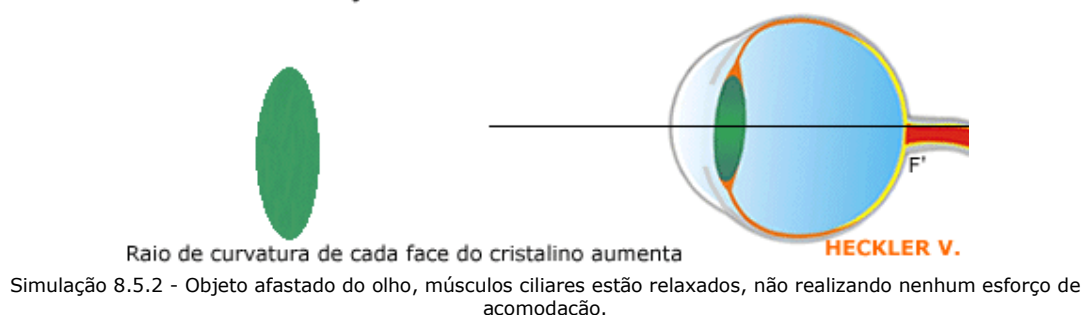
Nas simulações abaixo (simulação 8.5.1 e simulação 8.5.2), apresenta-se a variação da distância focal do cristalino ( $f$ ), em função da aproximação ou do afastamento de um objeto em relação ao nosso olho, provocando mudança no valor da abscissa ( $p$ ), inteiramente de acordo com as relações estudadas na equação de Gauss ( $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ ). Portanto, conforme poder ser visualizado, o papel dos músculos ciliares é comprimir ou distender o cristalino, para variar a distância focal  $f$  e possibilitar a formação da imagem na retina.

Na simulação 8.5.1, têm-se o objeto próximo, e os músculos ciliares contraídos, diminuindo a distância focal ( $f$ ), sendo necessário um máximo esforço de acomodação. Na simulação 8.5.2, o objeto está afastado do olho, e neste caso, os músculos ciliares estão relaxados, têm-se uma distância focal ( $f$ ) maior, portanto, não se exigindo um esforço de acomodação.

Objeto próximo do olho: Músculos ciliares contraídos.



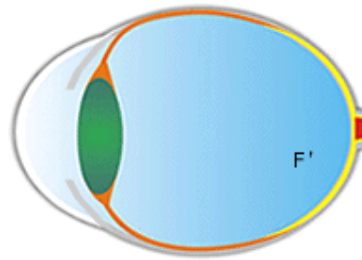
Objeto afastado do olho: Músculos ciliares relaxados.



Pode-se afirmar que o olho, ao não apresentar os padrões acima relacionados, está com algum desvio, possuindo algum defeito de visão.

### 8.5.1 - Miopia

Quando houver o alongamento do globo ocular em relação ao comprimento normal, ou uma excessiva vergência do cristalino, os objetos distantes do olho formam uma imagem antes da retina, ou seja, não nítida. Em outras palavras, se não enxergamos bem de longe significa que temos miopia (simulação 8.5.3). O olho míope enxerga bem objetos localizados próximo ao olho, pois a imagem desses objetos forma-se sobre a retina.

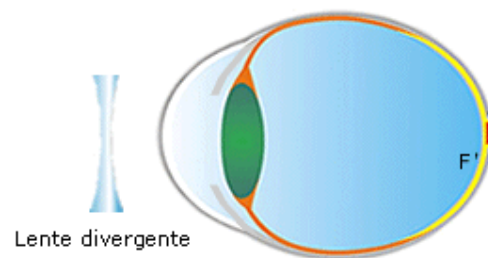


HECKLER V.

Simulação 7.5.3 - Objeto afastado do olho míope, não existindo esforço de acomodação e o foco  $F'$  antes da retina não formando imagem nítida.

Portanto, para a pessoa que sofre do problema de miopia, deve-se diminuir a vergência do cristalino, e aí sim poder enxergar nitidamente objetos distantes. A correção da miopia pode ser realizada com lentes divergentes ou através de cirurgia, alterando a raio de curvatura do globo ocular.

Observa-se na simulação 8.5.3, que o olho míope apresenta o foco  $F'$  antes da retina, formando uma imagem não nítida. Abaixo se mostra na simulação 8.5.4 que ao colocar-se em frente do olho uma lente divergente, os raios de luz provenientes de um objeto distante do olho emergem com se proviessem de um ponto mais próximo (P), formando uma imagem nítida sobre a retina.



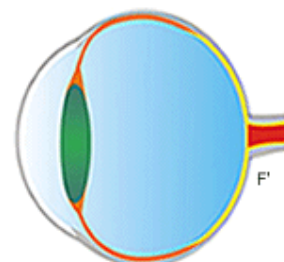
Lente divergente

HECKLER V.

Simulação 8.5.4 - Objeto afastado do olho míope, com a lente divergente, o feixe se abre e converge na retina.

## 8.5.2 - Hipermetropia

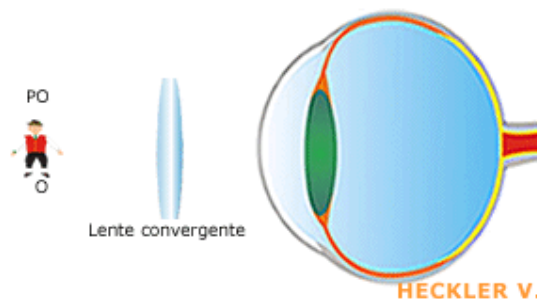
A hipermetropia consiste no encurtamento do globo ocular em relação ao comprimento normal. Observa-se na simulação 8.5.5 que os raios de luz provindos paralelamente do objeto convergem depois da retina, formando uma imagem sem nitidez.



HECKLER V.

Simulação 8.5.5 - Objeto afastado do olho hipermetrope, sem esforço de acomodação, possui o  $F'$  situado além da retina, não formando imagem nítida.

Deve-se fazer a correção do olho hipermetrope com lentes convergentes, para que o feixe de luz seja convergido sobre a retina. Na simulação 8.5.6 observa-se um objeto localizado próximo ao olho hipermetrope, a lente convergente (corretora do defeito visual) formando uma imagem virtual em um ponto imagem próximo ao olho (PI). Essa imagem comporta-se como um objeto real em relação ao olho, possibilitando a formação de uma imagem nítida.



Simulação 8.5.6 - A lente convergente forma a partir do objeto (o) próximo ao olho uma imagem (i) num ponto próximo do olho hipermetrope.

### 8.5.3 Outros defeitos

Outro defeito de visão é o astigmatismo, provavelmente existente entre alguns de seus colegas, pois dos defeitos de visão, este é um dos que mais ocorre no olho, provocado por imperfeições que aparecem no encurvamento da córnea, sendo corrigida usando-se lentes esferocilíndricas. No entanto, se o astigmatismo estiver associado com a miopia ou a hipermetropia, as correções devem ser feitas com lentes cilíndricas, convergentes ou divergentes, dependendo do defeito associado ao astigmatismo.

O olho humano pode apresentar ainda defeitos como a presbiopia, conhecida popularmente como vista cansada, adquirida em função da diminuição da capacidade de acomodação do cristalino, portanto devendo ser corrigida com lentes convergentes, conforme já estudado no caso acima da hipermetropia (simulação 8.5.6). Mas, para o caso em que o olho apresentava anteriormente miopia, não enxergando nitidamente objetos próximos, deve-se fazer a correção com lentes bifocais, que auxiliam à visão de objetos próximos e afastados.

Quando uma pessoa apresentar o problema de não ter paralelismo entre as retas visuais de seus respectivos olhos, trata-se do defeito de estrabismo, devendo-se usar para a correção lentes prismáticas ou prismas, divergentes ou convergentes de acordo com a situação particular de não paralelismo, existindo-se a possibilidade de cirurgia em alguns casos.

#### Atividades a serem desenvolvidas por você:

1- Supondo que você ao ler um jornal, percebe que a maior distância em que consegue ler nitidamente é 0,70m. Diante a este fato, qual o seu defeito de visão? E qual convergência da lente capaz de corrigir tal defeito? (Dado: a convergência de uma lente é  $C=1/f$ )

2- As três doenças de visão mais comuns são miopia, hipermetropia e astigmatismo. É (são) correta(s) a(s) alternativa(s):

- a) As três têm origem em anomalias na estrutura do globo ocular.
- b) Podem ser corrigidas respectivamente por lentes bicôncavas, biconvexas e cilíndricas.
- c) No míope a imagem se forma à frente da retina.

- d) O hipermetrope enxerga mal de longe.  
e) As duas primeiras podem ser corrigidas, respectivamente, por lentes convergentes e divergentes.

3- A distância focal de uma lente convergente é de 10,0 cm. A que distância da lente deve ser colocada uma vela para que sua imagem seja projetada, com nitidez, sobre um anteparo situado a 0,5 m da lente?

- a) 5,5 cm    b) 12,5 cm    c) 30,0cm    d) 50,0cm    e) 60,0 cm

4- Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do seguinte texto. Uma pessoa vê nitidamente um objeto quando a imagem desse objeto se forma sobre a retina.

Em pessoas míopes, a imagem se forma à frente da retina.

Em pessoas hipermetropes, os raios luminosos são interceptados pela retina antes de formarem a imagem (diz-se, então, que a imagem se forma atrás da retina).

Pessoas míopes devem usar óculos com lentes \_\_\_\_\_ e pessoas hipermetropes devem usar óculos com lentes \_\_\_\_\_ .

- a) Convergentes - biconvexas.  
b) Convergentes - divergentes.  
c) Plano-convexas - divergentes.  
d) Divergentes - bicôncavas.  
e) Divergentes - convergentes.

5- O Olho Humano possui o cristalino, que funciona como uma lente convergente bicôncava simétrica e que pode ter seus raios de curvatura alterados, para podermos focar as imagens a distâncias distintas. É correto afirmar que o cristalino:

- (01) não se altera quando um objeto se aproximar ou se afastar do olho.  
(02) terá seus raios de curvatura diminuídos se um objeto se afastar do olho.  
(04) terá seus raios de curvatura aumentados se um objeto se afastar do olho.  
(08) terá seus raios de curvatura diminuídos se um objeto se aproximar do olho.  
(16) terá seus raios de curvatura aumentados se um objeto se aproximar do olho.

Dê, como resposta, a soma das alternativas corretas.

6- A respeito da capacidade de visão do olho humano, analise os itens como verdadeiros ou falsos.

- ( ) Quando se olha para um objeto distante, a imagem forma-se na retina sem que seja necessário nenhum esforço de acomodação visual.  
( ) A luz emitida pelos olhos incide nos objetos à volta e a eles retorna, complementando o fenômeno conhecido por capacidade visual.  
( ) A luz atravessa a córnea localizada na parte central da superfície do globo ocular e passa, em seguida, pela pupila, que controla a entrada de luz, dilatando se quando o ambiente externo tem pouca luz e contraindo-se na presença de muita luz.  
( ) O cristalino é uma lente bicôncava e flexível que projeta na retina uma imagem real e invertida do objeto visualizado.

7- Considere o sistema óptico do olho humano como uma lente delgada situada a 20 mm da retina. Qual a distância focal dessa lente, quando a pessoa lê um livro a 35 cm?

Questões dos vestibulares:

- Questão 2 - UFSC  
Questão 3 - UFRGS  
Questão 4 - UFRGS  
Questão 5 - UFMT  
Questão 6 - UFMT  
Questão 7 - UFR-RJ



## 8.6 - Associação de Lentes

Você já escutou falar em instrumentos óticos? Pois é, eles são compostos, em sua grande maioria, por associação de lentes. Graças a esta associação, consegue-se diminuir as aberrações cromáticas, em geral provocadas quando uma luz branca incide em uma lente esférica, nas quais aparecem distâncias focais diferentes para diferentes cores, o que dificulta ter uma imagem de qualidade (nítida).

Em nosso estudo, analisa-se apenas o caso da associação por justaposição, onde as lentes possuem um eixo principal comum, estando dispostas uma do lado da outra, encostadas conforme o exemplo da figura abaixo (figura 8.6.1).

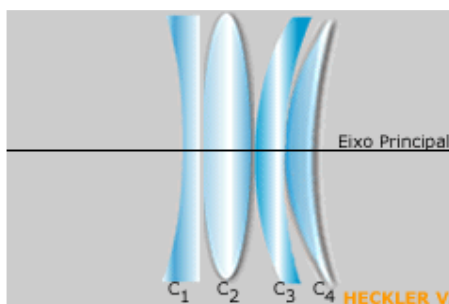


Figura 8.6.1 - Associação de lentes por justaposição.



Simulação 8.6.1 - Lente convergente  $L_1$ , conjuga o ponto objeto P com um ponto imagem  $P_1$ .

Na simulação acima (simulação 8.6.1) apresenta-se os seguintes elementos:

$L_1$  - lente convergente;

P - ponto objeto;

$P_1$  - ponto imagem;

p - distância do ponto objeto (P) à lente  $L_1$ ;

$p_1$  - distância do ponto imagem ( $P_1$ ) à lente  $L_1$ .

$f_1$  - distância focal de  $L_1$ .

Observa-se nesta simulação que os raios de luz atravessam  $L_1$ , conjugando P com  $P_1$ . As distâncias p e  $p_1$  estão associadas a  $f_1$  pela relação (equação 1):

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{f_1}$$

Ao justapor-se uma segunda lente  $L_2$ , de distância focal  $f_2$ , com a lente do exemplo anterior ( $L_1$ ), observa-se na simulação 8.6.2 a formação da imagem acontecendo em  $P_2$  e não mais em  $P_1$ . Neste caso, aparecem novos elementos:

$L_2$ - lente convergente;

$f_2$ - distância focal de  $L_2$ ;

$p_2$  - distância do ponto imagem ( $P_2$ ) à lente  $L_2$ ;

$P_1$ - ponto objeto virtual;

$p_1$ - distância  $P_1$  à lente  $L_2$ ;

$P_2$ - ponto imagem.



Simulação 8.6.2 - Associando-se duas lentes convergentes, elas conjugam o ponto objeto P com um ponto imagem  $P_2$ .

Considerando-se apenas a lente  $L_2$  pode-se pensar que  $P_2$  é a imagem do objeto virtual  $P_1$  e a relação entre  $p'_1$ ,  $f_2$  e  $p'_2$  fica (equação 2):

$$\frac{1}{-p'_1} + \frac{1}{p'_2} = \frac{1}{f_2}$$

onde o sinal negativo se deve a que  $P_1$  está no mesmo lado da  $L_2$  que  $P_2$ . Através da soma da equação 1 mais a equação 2, teremos (equação 3):

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'_2} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

que está relacionando diretamente o ponto objeto  $P_1$  ao ponto imagem  $P_2$  através de uma lente de distância focal  $f$ , tal que (equação 4):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Portanto a justaposição das duas lentes de distâncias focais  $f_1$  e  $f_2$  corresponde a uma terceira lente de distância focal  $f$ , que obedece a equação 4.

Ao reescrever a equação 4, em sua forma de convergência, teremos (equação 5):

$$C = C_1 + C_2$$

### Resolva as questões abaixo:

1- Considerando-se uma lente  $L$ , oriunda da justaposição de duas lentes  $L_1$  e  $L_2$ , para a mesma, qual será a distância focal ( $f$ ) e a convergência ( $C$ ), nos casos seguintes: a) A lente  $L_1$ , têm distância focal  $f_1 = -15$  cm e a lente  $L_2$  possui  $f_2 = +30$ cm; b) A lente  $L_1$ , têm convergência  $C_1 = +4$  di e a lente  $L_2$  possui  $C_2 = -3,5$  di;

2- Determinada lente divergente, com distância focal 8 cm, é justaposta a outra convergente, a qual possui uma distância focal de 15 cm. Determine a distância focal e a vergência da lente equivalente à associação.

## 8.7 - Instrumentos Óticos de Aumento

Os instrumentos óticos de observação são instrumentos muito utilizados pelo homem, tanto para aumentar o tamanho de objetos minúsculos, como quando se usa a lupa para auxiliar na leitura de palavras escritas em letras muito pequenas, como para intensificar o brilho de objetos distantes, como o caso da luneta para a visualização de um astro no céu. Este estudo oportuniza uma pequena análise do funcionamento da lupa, do microscópio composto, da luneta astronômica e do telescópio.

### 8.7.1- Lupa ou lente de aumento

Para que um objeto seja visto sem auxílio de instrumento (óculos, lupas e etc), ou seja, a olho nu, necessita estar localizado a uma distância mínima do olho (do), na qual existe a formação de uma imagem nítida, com um ângulo visual  $\hat{A}_o$ , conforme representado na simulação 8.7.1.



Simulação 8.7.1 - Simulação da distância mínima ( $d_o$ ), para que o objeto (O) seja visto sem a lupa.

Existem casos em que é necessário fazer o uso de lupas, como por exemplo, durante o estudo de determinado inseto na aula de biologia ou mesmo de um simples concerto em um circuito eletrônico. Na simulação 8.7.2 mostra-se a formação da imagem por uma lupa, para o objeto (O) localizado no foco da lupa, verificando-se que existe formação de uma imagem (O') virtual ampliada e direita, e vista sobre um ângulo visual  $\hat{A}_i$  pelo observador.



Simulação 8.7.2 - Simulação de uma imagem (O') visto a partir do objeto (O) com a lupa.

Podemos definir o aumento provocado pela lupa como a razão entre ângulo visual  $\hat{A}_i$  obtido pelo observador na simulação 8.7.2, e o ângulo visual  $\hat{A}_o$ , referente ao objeto visto a olho nu na simulação 8.7.1.

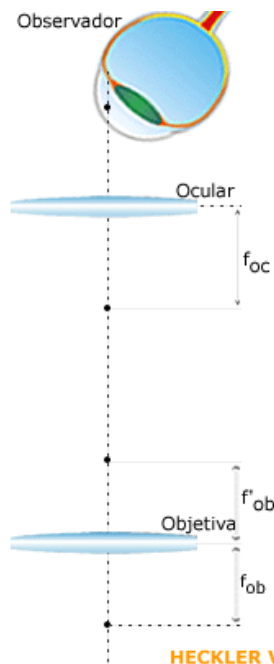
$$A = \frac{\hat{A}_i}{\hat{A}_o}$$

Considerando-se  $C$  a convergência da lupa, e que a distância mínima do olho para ter visão nítida é ( $d_o$ ), indica-se aqui que o aumento nominal ( $A_l$ ) produzido pela lupa é:

$$A_l = d_o \cdot C$$

### 7.7.2- Microscópio Composto

Na simulação abaixo, mostra-se como ocorre a formação de uma imagem em um microscópio composto, apresentando-se também os componentes principais que formam o instrumento.



Simulação 8.7.3 - Formação de imagem no microscópio.

Os microscópios são compostos por duas lentes convergentes (a ocular e a objetiva). Colocando-se um objeto (O) antes do foco principal objeto ( $f_{ob}$ ) da lente objetiva, verifica-se a formação de uma imagem ( $O'_1$ ) real, invertida e maior que o objeto. Nota-se que a imagem  $O'_1$  comporta-se como um objeto para a lente ocular, a qual funciona como uma lupa, fornecendo para o observador uma imagem final ( $O'_2$ ) virtual, invertida e maior que o objeto.

Por definição o aumento linear transversal A do microscópio, é dada pela relação:

$$A = \frac{O'_2}{O}$$

**Com auxílio da simulação 8.7.3 e usando as relações dos ângulos visuais envolvidos, demonstre matematicamente que o aumento linear transversal A do microscópio composto é a expressão:**

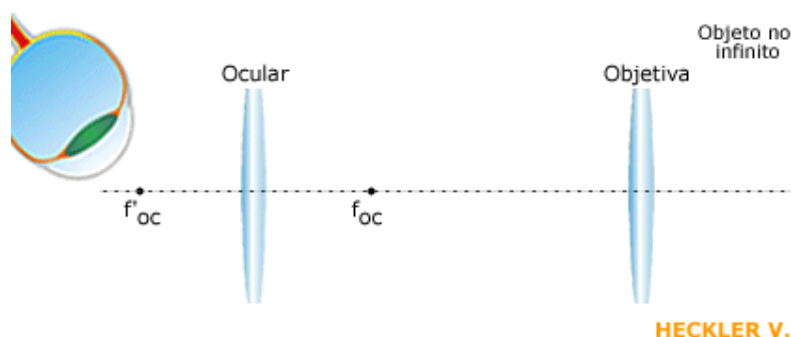
$$A = A_{ob} \cdot A_{oc}$$

onde ( $A_{ob}$ ) é o aumento linear transversal da objetiva e ( $A_{oc}$ ) é o aumento linear transversal da ocular.

Atualmente os microscópios óticos (estudado acima), são usados somente para casos onde os aumentos necessários sejam entre 300 e 2000 vezes, caso contrário os microscópios usados são os eletrônicos, os quais produzem aumentos superiores a cem mil vezes, e funcionam com feixes de elétrons no lugar dos feixes de luz.

### 8.7.3- A luneta Astronômica

Apresenta-se abaixo o princípio de funcionamento de uma luneta astronômica, mostrando-se a organização das duas lentes convergentes que a compõem.



Simulação 8.7.4 - Simulando a formação de imagem de um astro com uma luneta.

Na simulação 8.7.4 observa-se que o objeto está localizado no infinito, emitindo luz que inicialmente atravessa a lente objetiva (com grande distância focal), sendo esta responsável em formar a imagem ( $O'_1$ ) real e invertida em seu plano focal ( $f_{ob}$ ). Verifica-se que esta imagem ( $O'_1$ ) se apresenta como um objeto para a lente ocular, formando uma imagem virtual e invertida ( $O'_2$ ) para o observador.

O material abaixo que fala sobre o *telescópio astronômico refrator*, inclusive o simulador java applet foram extraídos e adaptados do material produzido por Walter Fendt, disponível no endereço: [www.walter-fendt.de/ph11d](http://www.walter-fendt.de/ph11d).

As lunetas astronômicas são também chamadas de telescópios refratores. Abaixo você poderá interagir com o applet que simula um telescópio simples constituído de duas lentes, denominadas de objetiva e ocular. Os raios de luz que incidem da esquerda na objetiva são refratados por ela e pela ocular, e atingem o olho da pessoa que está olhando pelo telescópio (pela direita da ocular). Note que as linhas coloridas de vermelho da simulação não correspondem exatamente aos raios reais que são refratados em ambas as superfícies de uma lente. A aproximação simplificada das lentes finas assume um desvio nos planos de simetria. Se o comprimento focal da objetiva ( $f_1$ ) é maior que o comprimento focal da ocular ( $f_2$ ), o telescópio astronômico refrator produz um aumento, imagem invertida.

É possível variar o comprimento focal da objetiva e da ocular de 0.05 m a 0.5 m usando os campos respectivos (não esqueça apertar o "Enter"! ). Ainda você pode modificar a direção dos raios arrastando o mouse. O programa calculará, para a objetiva e para a ocular, os ângulos entre os raios de luz e o eixo óptico (marcado de azul e de verde) e seu aumento. Por exemplo, o applet mostra as seis estrelas mais brilhante de Pleiades, vistas a olho nu (círculo esquerdo) e através do telescópio (círculo direito).

Lembrando que o aumento do telescópio astronômico refrator pode ser obtido com a seguinte fórmula aproximada (para ângulos pequenos):

$$A = \frac{-f_1}{f_2}$$

**Altere os dados das distâncias focais, e observe o que acontece com a imagem visto pelo observador, anote para discutir com o professor e seus colegas, aquilo em que não ficou claro para você.**

[Clique aqui para entrar](#)

Simulação 8.8.5 - Simulando o comportamento dos raios de luz no telescópio refrator. Desenvolvido por Walter Fendt e traduzido pela CEPA - IFUSP - <http://cepa.if.usp.br/walterfendt>

**Comprimentos focais:**

Objetiva:  m

Ocular:  m

**Ângulos:**

Objetiva: 4.0 °

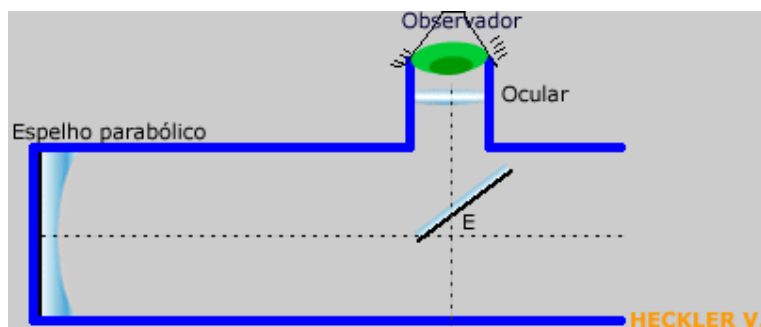
Ocular: -19.3 °

**Aumento:** -4.8

© W. Fendt 2000  
© CEPA 2001

### 8.7.4- Os telescópios

As lunetas Astronômicas apresentam algumas distorções nas imagens devido à sua lente objetiva. Em função desse detalhe técnico, surgiu o telescópio refletor que usa um espelho parabólico côncavo como objetiva.



Simulação 8.7.6 - Simulando a formação de uma imagem, de um objeto distante, por um telescópio refletor.

Observa-se na simulação 8.7.6, que o espelho côncavo no telescópio é responsável em produzir, a partir de um objeto localizado no infinito, a imagem  $O'_1$  que se comporta como um objeto virtual para o espelho plano (E), o qual fornece a imagem  $O'_2$  real. A imagem  $O'_2$  comporta-se como objeto para a lente ocular, a qual no equipamento desempenha função igual a de uma lupa, fornecendo para o observador uma imagem  $O'_3$ .

#### Atividades a serem resolvidas:

- 1- Imagine que uma pessoa esteja fazendo a observação de um eclipse da Lua, utilizando a luneta como instrumento de aproximação. Esquematize a formação da imagem vista pelo observador.
- 2- Faça uma pesquisa sobre o funcionamento dos binóculos, explicando os principais elementos e fenômenos físicos, que fazem parte dele, e o que garante que ele é um bom instrumento ótico de aumento.

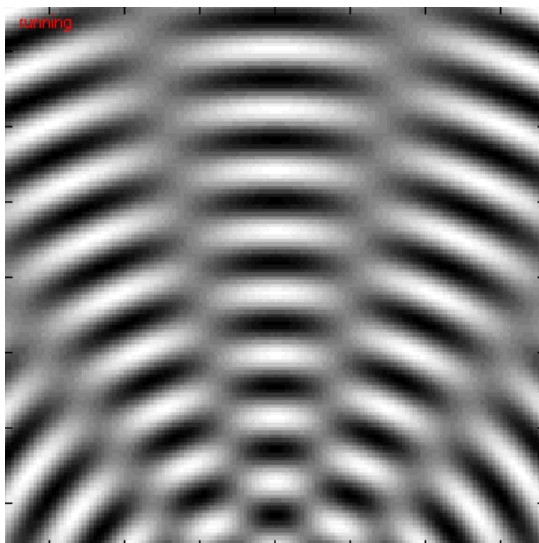
## INTERFERÊNCIA

### 9.1 - Fontes e Ondas Coerentes

Depara-se em algumas oportunidades, com belas imagens formadas em películas de óleo espalhadas no asfalto, ou em bolhas de sabão, ou com lindas cores refletidas por um CD exposto a uma determinada luz, fenômenos da ótica que não se consegue explicar pelo modelo da ótica geométrica, onde se representa a luz por meio de raios, e sim através do modelo ondulatório da luz. Por este motivo, se introduz o estudo de fontes e ondas coerentes, que irão auxiliar no entendimento dos fenômenos da interferência, difração e polarização da luz.

Aborda-se inicialmente a interferência, importante fenômeno que distingue as ondas das partículas, o qual acontece quando duas ou mais ondas se encontram em uma mesma região do espaço e sofrem combinações, conforme se expõem abaixo.

Na simulação (simulação 9.1.1), observa-se que existem dois pontos oscilantes no interior de uma cuba com água. Como se verifica que os ciclos de oscilação sempre são os mesmos, pode-se afirmar que as duas fontes criam **ondas coerentes**, ou seja, ondas com a mesma fase e mesma frequência. Visualiza-se que ao haver a superposição dessas ondas, verifica-se a formação das áreas de **interferência construtiva**, onde cristas se superpõem a cristas (ondas encontram-se em mesma fase), e áreas de **interferência destrutiva** devido a superposição de cristas com vales (ondas encontram-se com diferença de fase).



Executar Parar

Simulador 9.1.1 - Simulador de interferência de ondas - Desenvolvido por Davidson College - <http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>

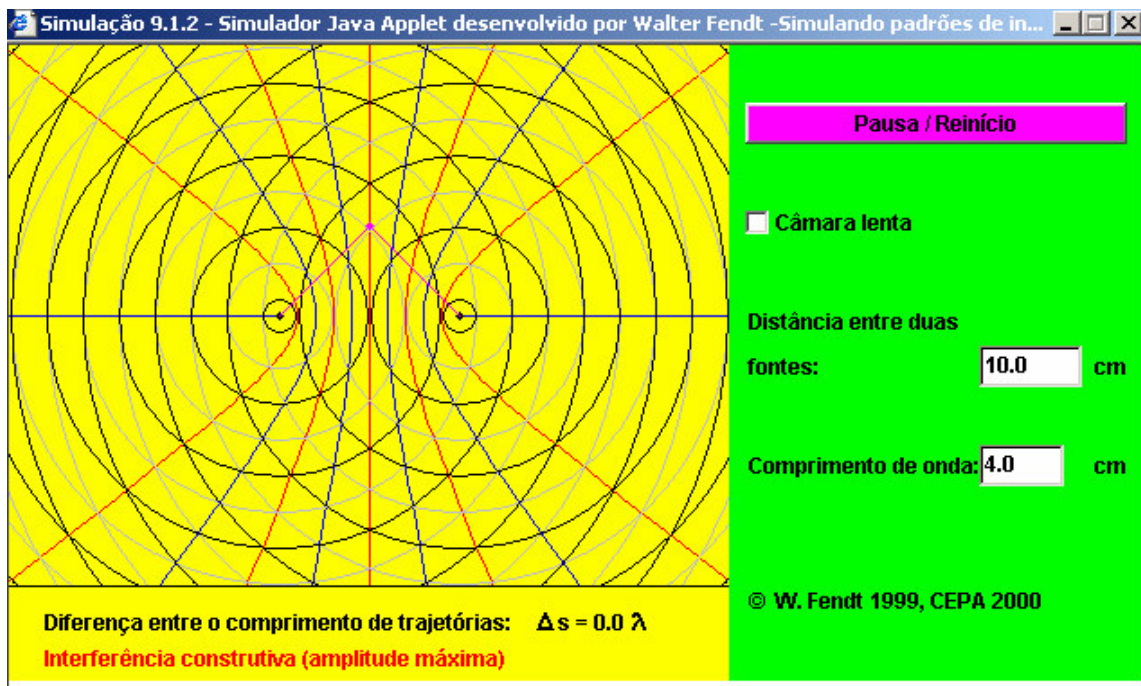
O material abaixo que fala sobre a **interferência de duas ondas**, inclusive o simulador Java Applet foram extraídos e adaptados do material desenvolvido por Walter Fendt e traduzido pela CEPA -IFUSP - <http://cepa.if.usp.br/walterfendt>

O simulador Java Applet na simulação 9.1.2, mostra a interferência de duas ondas esféricas ou circulares (por exemplo, ondas de água ou de som). As ondas são originadas a partir de duas fontes que oscilam com mesma fase.

**Orientação sobre o uso do simulador:** O botão "Pausa / Reinício" torna possível parar ou continuar a simulação. Se você escolher a opção "Câmara lenta", a animação ficará cinco vezes mais lenta. Pode-se variar a distância entre as duas fontes e o comprimento de onda usando os campos respectivos (não esqueça do "Enter" depois!). Na parte inferior, o programa indica o valor de  $\Delta S$  definido como a diferença de distância do ponto violeta às duas fontes. Você pode mover este ponto com o botão do mouse.

[Clique aqui para ver o Simulador](#)





Simulação 9.1.2 - Simulando padrões de interferência produzidos por duas fontes vibrantes. Desenvolvido por Walter Fendt e traduzido pela CEPA -IFUSP - <http://cepa.if.usp.br/walterfendt>

### Você deverá verificar dois casos extremos:

1<sup>o</sup> - Alterando a diferença de distância às duas fontes  $\Delta S$ , fazendo-a igual a um número inteiro de comprimentos de onda  $\lambda$  (exemplo:  $1\lambda$ ,  $2\lambda$ ,  $3\lambda$ ...), verifique se nestes pontos existe interferência construtiva ou destrutiva.

2<sup>o</sup> - Alterando a diferença de distância às duas fontes  $\Delta S$ , fazendo-a igual a um número ímpar de meios comprimentos de onda  $\lambda$  (exemplo:  $0,5\lambda$ ,  $1,5\lambda$ ,  $2,5\lambda$ ...), verifique se nestes pontos existe interferência construtiva ou destrutiva.

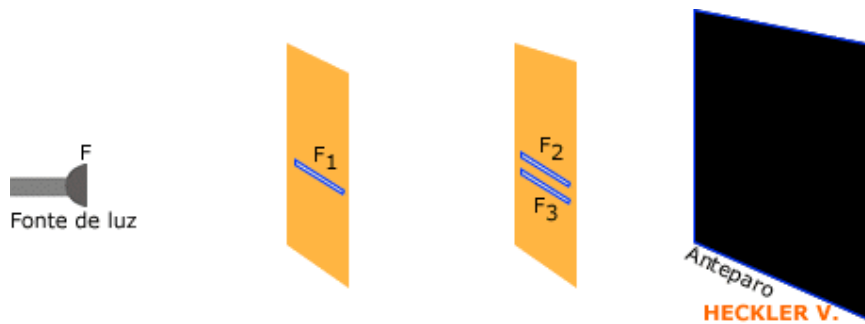
### Você deve estar se perguntando: "Por que estudar interferência de ondas sonoras, ou ondas na água, em Ótica?"

Deve-se levar em consideração que o fenômeno de interferência, não só acontece em casos visíveis, com os acima tratados (ondas sonoras ou ondas na água), mas também é aplicado e válido a todas as ondas, inclusive a luz, portanto, é fundamental relembrar os conceitos de interferência provavelmente já estudados por você. Aborda-se no estudo do experimento de Thomas Young (capítulo 9.2), a natureza ondulatória da luz, onde realmente existe a comprovação da interferência da luz.

## 9.2 - Experimento de Young

Levando-se em consideração que através do experimento (famoso experimento de interferência) realizado em 1801, pelo físico e médico inglês Thomas Young, se evidenciou de forma convincente a natureza ondulatória para a luz, abrindo-se o caminho para o estabelecimento da teoria ondulatória da luz.

Na simulação abaixo (simulação 9.2.1), representa-se o experimento de Young. Inicialmente visualiza-se uma fonte emissora de luz (F) não coerente, isto é, uma lâmpada comum e não um laser, que passa pela fenda ( $F_1$ ) e sofre difração, propagando-se por duas outras fendas ( $F_2$  e  $F_3$ ) onde a luz é decomposta.  $F_2$  e  $F_3$  apresentam-se como duas fontes, que emitem a luz decomposta, com a mesma frequência, mesmo comprimento de onda, possibilitando a recombinação dessas ondas. Verifica-se que quando uma **crista** de onda de luz provinda de  $F_2$  se superpõe na tela com outra **crista** que veio de  $F_3$ , forma-se um padrão de interferência construtiva, visualizando-se no anteparo uma linha brilhante. No entanto, quando uma **crista** de onda proveniente de uma das fendas se superpõe no anteparo com um **vale** de onda luminosa proveniente de outra fenda, o padrão de interferência é destrutivo, formando linhas escuras.



Simulação 9.2.1 - Simulando o experimento de Young, produzindo um padrão de interferência no anteparo.

Ao tirar-se uma foto da imagem formada no anteparo da simulação anterior (figura 9.2.1), observa-se a formação do padrão de interferência, com uma série de linhas claras (interferência construtiva) e outra de linhas escuras (interferência destrutiva).

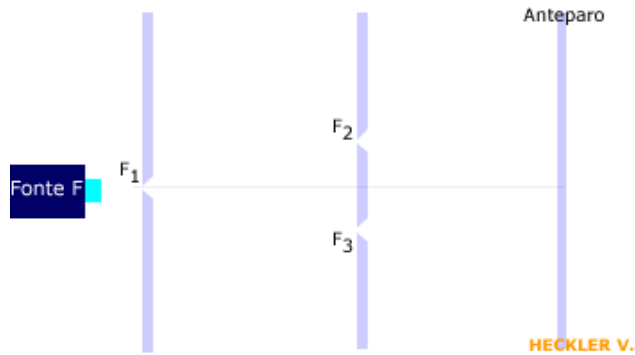


Figura 9.2.1 - Padrão de interferência

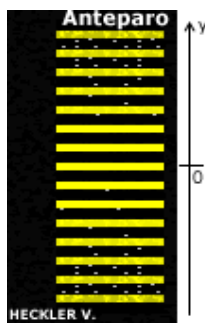
Pode-se afirmar que, para a franja brilhante central, o caminho percorrido pela onda de luz proveniente da  $F_2$  é o mesmo caminho que o caminho pela onda vinda de  $F_3$ , portanto, se em ambas as fontes ( $F_2$  e  $F_3$ ) há propagação de luz coerente, elas chegam no anteparo em fase, se somando naquele ponto. No entanto, na combinação de ondas com uma diferença de meio comprimento de onda, de uma em relação à outra, as ondas nos pontos do anteparo estão fora de fase, formando franjas escuras. Este caso comporta-se de forma análoga à interferência com ondas de água ou som, estudados no capítulo 9.1.

### Atividade a serem desenvolvidas por você:

1- Explique, partindo da figura abaixo e usando o modelo ondulatório da luz, o que Young demonstrou em seu experimento.



2- Partindo da figura abaixo, construa o gráfico da intensidade da luz que atinge o anteparo em função da posição Y, junto ao máximo central.



3- Uma pessoa observa a luz do Sol entrar por duas frestas idênticas existentes em cada lado da porta de sua casa, projetando seus raios na parede, mas neste caso ela não consegue observar o fenômeno de interferência. Por quê?

### 9.3 - Posição das Franjas de Interferência

Fazendo-se análise dos caminhos percorridos pelas ondas luminosas, originadas nas fendas  $F_2$  e  $F_3$  do experimento de Young, obtêm-se dados e características importantes da onda luminosa que chega às fendas ( $F_2$  e  $F_3$ ).

Considera-se na figura 9.3.1, que  $d$  é a distância entre as fendas ( $F_2$  e  $F_3$ ) e  $r_2$  e  $r_3$  são as distâncias percorridas por duas ondas de luz que se superpõem no ponto P do anteparo. Para que as duas ondas superpostas no ponto P formem uma interferência construtiva, elas precisam chegar simultaneamente em fase, logo podemos escrever:

$$r_2 - r_3 = n\lambda$$

onde  $n$  é um número inteiro (0, 1, 2, ...)

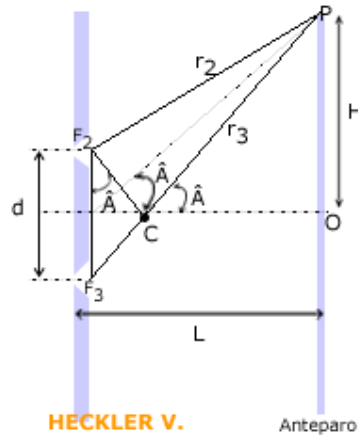


Figura 9.3.1 - Caminho de duas ondas de luz que se superpõem no ponto P do anteparo.

Aplicando-se as relações trigonométricas, e considerando-se que o ângulo  $\hat{A}$  é, aproximadamente igual para os casos da figura acima, pois no experimento de Young a distância entre as fendas ( $d$ ) é muito pequena em relação a  $L$ , pode-se notar que para o triângulo menor ( $F_2F_3C$ ) apresentado na figura acima (figura 9.3.1), é válido:

$$\text{sen}(\hat{A}) = \frac{r_2 - r_3}{d}$$

Combinando-se as duas equações anteriores obtivemos:

$$\text{sen}(\hat{A}) = \frac{n \cdot \lambda}{d}$$

Como no experimento real o ângulo  $\hat{A}$  é muito pequeno, pode-se considerar que  $\text{sen}(\hat{A})$  é aproximadamente igual a  $\text{tg}(\hat{A})$ , o que permite escrever:

$$\text{sen}(\hat{A}) = \text{tg}(\hat{A}) = \frac{H}{L}$$

portanto, podemos estabelecer uma relação entre a posição da franja ( $H$ ), a distância das fendas à fonte ( $d$ ), e a distância da fenda até o anteparo ( $L$ ):

$$H = \frac{n \cdot L}{d} \lambda$$

Para haver interferência destrutiva as duas ondas providas das fontes  $F_1$  e  $F_2$  devem chegar ao ponto P com diferença de meia fase, ou seja:

$$r_2 - r_3 = 1 + \frac{1}{2} \lambda$$

seguinto-se um raciocínio similar para o caso da interferência construtiva vemos que a as interferências **destrutivas** ocorrerão quando:

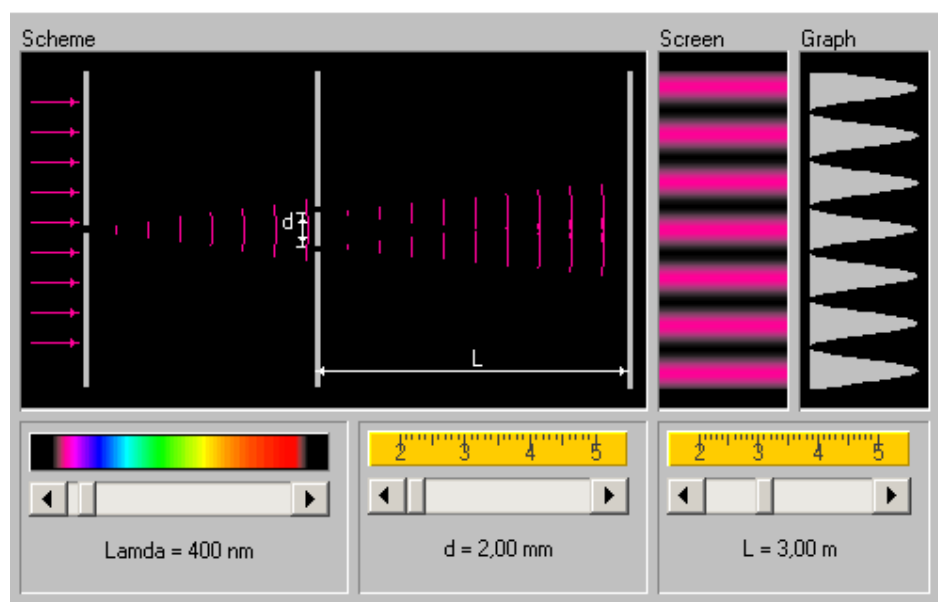
$$H = \left( n + \frac{1}{2} \right) \frac{L}{d} \lambda$$

Verifica-se abaixo na figura 9.3.2, nas respectivas franjas de interferência, os valores de n para algumas franjas de interferência formadas no anteparo, tendo na franja central n=0, e em seqüência observa-se que franjas de interferências **construtivas** assumem valores inteiros de n (n= 1, 2, 3, 4, 5,...).



Figura 9.3.2 - Representação do valor n para as franjas de interferência construtivas.

Pode-se simular a interferência provocada por duas fendas, no simulador Java Applet abaixo (simulação 9.3.1). Com auxílio do mouse você poderá alterar o comprimento de onda  $\lambda$  (lambda) incidente nas fendas, a distância d entre as mesmas e o comprimento L de afastamento entre a posição da fendas e o anteparo. Observa-se o padrão de interferência formado no anteparo (Screen), com franjas coloridas e franjas escuras, e ao lado têm-se gráfico (Graph) que representa a intensidade luminosa no anteparo em função da posição.



Simulação 9.3.1 -Simulador interativo de interferência - Desenvolvido por Serge G. Vtorov - <http://vsg.quasihome.com/interf.htm>

$$H = \frac{n \cdot L}{d} \lambda$$

Com auxílio do simulador e baseado na equação , responda as seguintes questões:

a) Simulando inicialmente no experimento com luz monocromática violeta e posteriormente com luz monocromática vermelha, o que acontece com o espaçamento das franjas no dois casos, observados no anteparo? Justifique o seu resultado.

b) Repetindo-se a mesma simulação anterior, apenas aumentando a distância d entre as fendas, existe mudança no espaçamento das franjas? Qual é a relação entre a distância d e o espaçamento das franjas?

c) Incidindo-se luz monocromática azul nas fendas, deixando constante a distância d entre as fendas e alterando o comprimento de afastamento L entre as fendas e o anteparo, qual o resultado obtido no anteparo. A sua resposta esta de acordo, com as

$$H = \frac{n \cdot L}{d} \lambda$$

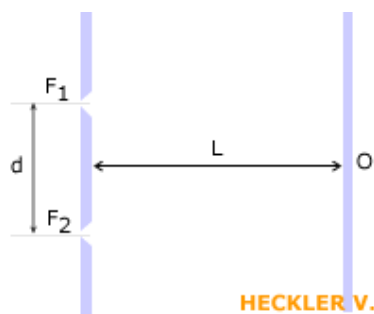
relações expressas na equação ( )?

**Questões complementares:**

1- A interferência da luz na experiência de Young mostra que:

- a) tem comportamento ondulatório.
- b) tem comportamento de partícula.
- c) é uma onda longitudinal.
- d) tem comportamento eletromagnético.
- e) é composta de fótons.

2- Numa experiência de interferência de Young (figura abaixo), os orifícios são iluminados com luz monocromática de comprimento de onda  $\lambda = 6 \times 10^{-5}$  cm, a distância d entre eles é de 1mm e a distância L, deles ao anteparo, é 3 m. Calcule a posição da primeira franja brilhante, em relação ao ponto O (desconsidere a franja central).



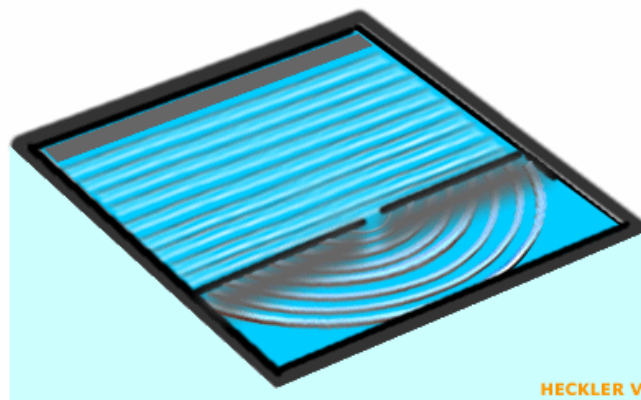
Questões de vestibular:

- Questão 1 - UFSM
- Questão 2- ITA

## DIFRAÇÃO

### 10.1 - Difração

A simulação 10.1.1 mostra um objeto provocando oscilações planas em uma cuba contendo água, a qual apresenta um obstáculo com uma abertura. Quando as ondas de água chegam à abertura, espalham-se pelo outro lado do obstáculo, apresentando-se a abertura como uma nova fonte de ondas. Trata-se do fenômeno da difração, que acontece com qualquer tipo de movimento ondulatório, inclusive com as ondas luminosas.



Simulação 10.1.1 - Um objeto plano cai em um tanque com água, formando ondas planas, que ao encontrarem um obstáculo com uma abertura, sofrem difração.

Tirando uma fotografia da simulação acima, a imagem fica como na figura 10.1.1, mostrando que a onda que vinha se propagando paralelamente antes da abertura do obstáculo sofre uma difração e começa a contornar o orifício após passar por ele. Este fenômeno também ocorre com a luz, desde que a abertura ou fenda em que a luz incidir seja da ordem do comprimento de onda da mesma, próximo de  $10^{-6}$  m.

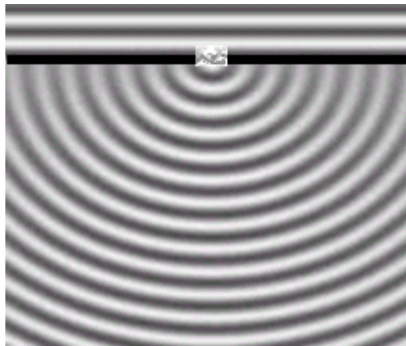
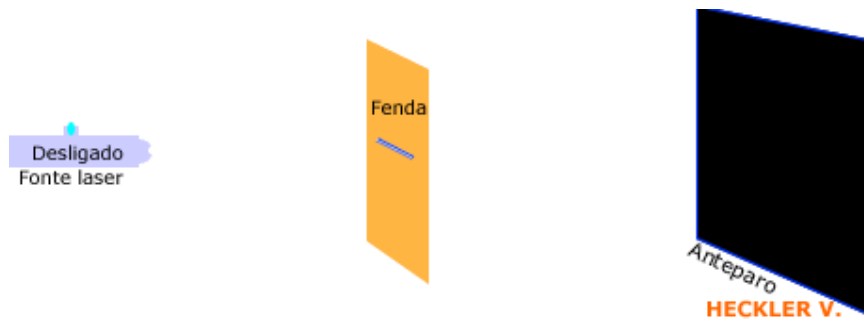


Figura 10.1.1 - Fenômeno da difração em uma cuba de ondas.

Apresenta-se na simulação 10.1.2, as franjas de difração provocadas por uma fonte de luz laser monocromática (uma única frequência), que atravessa uma fenda (experimento de fenda simples), aparecendo no anteparo uma região central clara, onde a intensidade luminosa é máxima, cercada de regiões claras e escuras.



Simulação 10.1.2 - Difração: formação de regiões claras escuras pela luz do laser que passa por uma fenda estreita.

Representa-se na figura 10.1.2 o gráfico da intensidade da luz em função da posição das regiões claras e escuras que aparecem no anteparo no caso da simulação vista anteriormente (simulação 10.1.2).

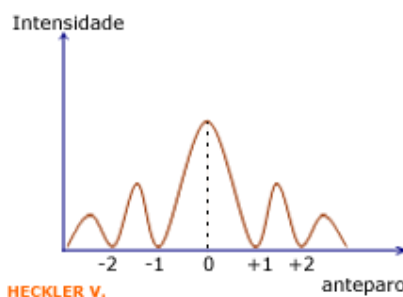


Figura 10.1.2 - Gráfico da intensidade da luz difratada em uma fenda simples de largura  $d$ .

O gráfico apresenta intensidade máxima na região central, ponto 0 em relação a fenda, e que o mesmo é mais largo do que os outros máximos secundários, os quais apresentam gradativamente a sua intensidade diminuída e uma simetria de distribuição nos dois lados do ponto 0 (máximo central).

Mostra-se na figura 10.1.3 o experimento da fenda simples visto acima na simulação 10.1.2, agora observado a partir de outro referencial, no qual visualiza-se a fenda retangular estreita de largura  $d$ , formando a figura de difração composta por interferências construtivas e destrutivas.

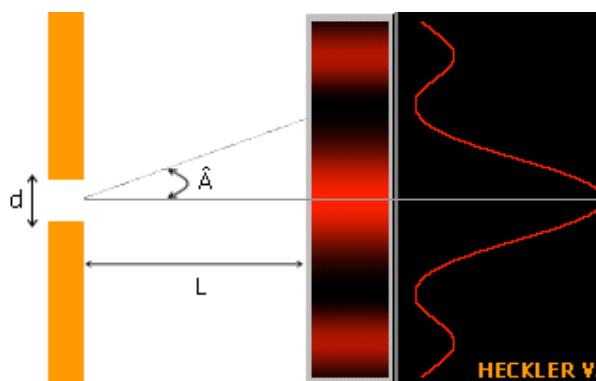


Figura 10.1.3 - Representação da difração em um experimento de fenda simples de largura  $d$ .

Comparando as figuras 10.1.2 e 10.1.3, vemos que as posições das franjas escuras (interferência destrutiva), acontecem para os valores de  $\hat{A}$  tal que  $\text{sen}\hat{A} = \pm 1, \pm 2, \dots$

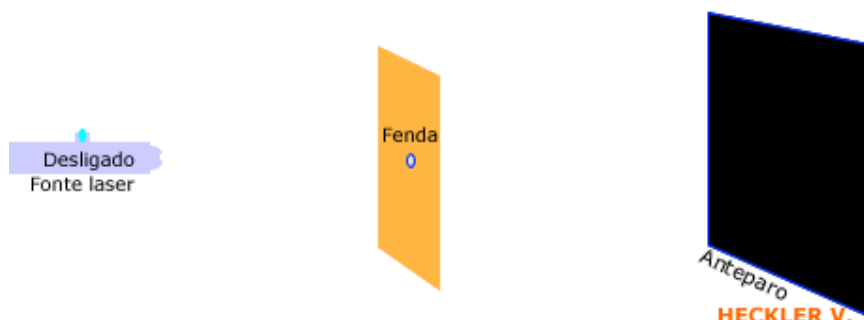


Considerando  $L \gg d$ , pode-se mostrar que os valores de  $\hat{A}$  para os quais acontece a interferência destrutiva obedecem à equação:

$$\text{sen}(\hat{A}) = \frac{n \cdot \lambda}{d}$$

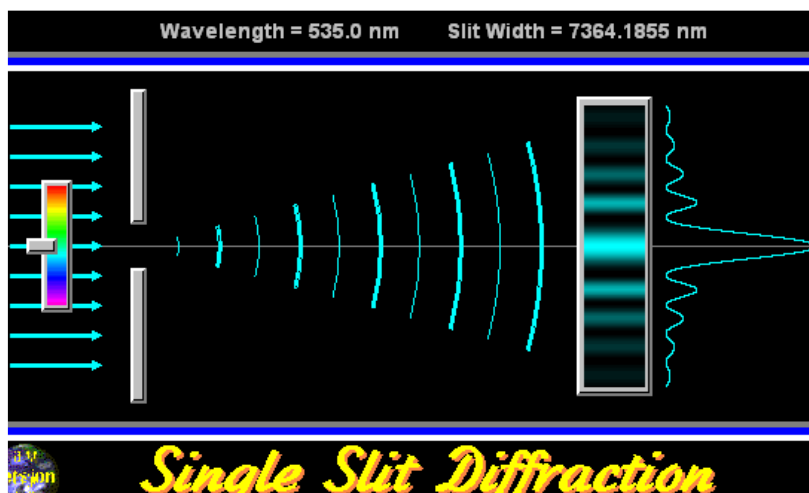
onde  $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ,  $\hat{A}$  representa o ângulo entre os raios de luz e a normal ao anteparo,  $\lambda$  é o comprimento da onda de luz que passa pela fenda,  $d$  é a largura da fenda.

Também pode-se observar o fenômeno da difração provocada por aberturas circulares na simulação 10.1.3, onde apresenta-se um caso em que a distância entre o anteparo e a fenda é muito grande comparada com o comprimento de onda da luz (distância  $\gg \lambda$ ), com isso os raios de luz podem ser considerados paralelos. Caso a distância entre a fenda e o anteparo seja pequena (distância  $\cong \lambda$ ), obtêm-se figuras de Difração de Fresnel, não estudadas aqui em função da sua complexidade, em termos de análise.



Simulação 10.1.3 - Obtenção da figura de difração, através de uma abertura circular.

Abaixo, apresenta-se um simulador interativo (simulação 10.1.4) onde, com auxílio do mouse, você poderá alterar o comprimento de onda (*Wavelength*) incidente na fenda, e clicando e arrastando o mouse sobre as fendas, você pode variar o tamanho da fenda (*Slit Width*).



Simulação 10.1.4 - Simulando o fenômeno de Interferência com uma fenda - Desenvolvido por Sergey Kiselev e Tânia Yanovsky - Kiselev. - [http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro\\_physics/kiselev/](http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kiselev/)

a) o que acontece com as franjas de interferência na tela, quando usamos luz vermelha? e para caso de luz violeta? Explique por que ocorre essa diferença nas franjas de interferência.

b) Repetindo o experimento com luz vermelha, mas variando-se o tamanho da fenda, o que acontece com as franjas, quando existe redução no tamanho da fendas? Explique.

### Para você refletir e responder:

a) Sabemos que numa câmara escura, o orifício de abertura é pequeno e, no entanto a imagem obtida no fundo da câmara, segue um comportamento geométrico da luz. Explique, levando em conta o comprimento de onda da luz.

b) A difração acontece com ondas. Sabemos que as ondas sonoras conseguem contornar um muro, pois podemos ouvir alguém que está falando atrás do mesmo. Calcule o comprimento de uma onda sonora. Por que não podemos ver essa pessoa atrás do muro?

### Responda as questões abaixo:

1- Supondo que Alexandre gosta de escutar música em emissora de rádio FM (**comprimento de onda menor**), e seu amigo Fernando gosta de escutar notícias e para tanto ouve uma emissora AM (**comprimento de onda maior**). Supondo que ambos estejam atrás de um edifício, qual dos dois consegue captar com maior nitidez, as ondas das emissoras? Explique sua resposta, usando conceitos de difração.

2- Com base nos conceitos da óptica, é correto afirmar:

( ) Luz é uma onda de natureza eletromagnética.

( ) A propagação retilínea da luz é evidenciada durante um eclipse lunar.

( ) Quando a luz se propaga num meio material com índice de refração igual a 2, sua velocidade de propagação é reduzida à metade do seu correspondente valor no vácuo.

( ) Uma pessoa pode reduzir a intensidade da luz que atinge os seus olhos utilizando polarizadores.

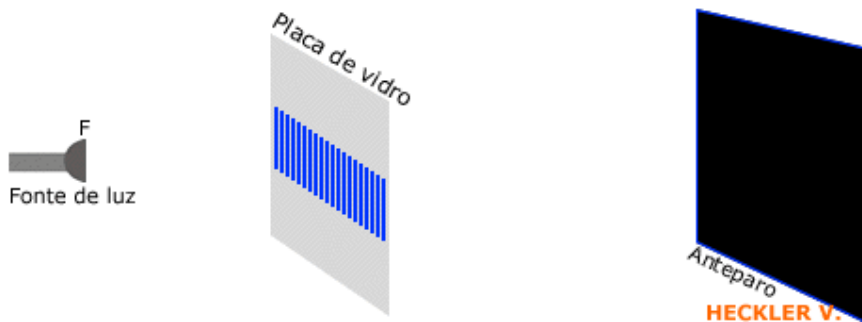
( ) Quando um feixe de luz monocromática é transmitido de um meio para outro, o seu comprimento de onda permanece inalterado.

( ) A difração é um fenômeno que ocorre exclusivamente com a luz.

Questão 2 é do vestibular da UFPR

## 10.2 - Espectroscopia com Redes de Difração

Supondo-se que na placa de vidro da simulação 10.1.1, existe um número muito grande de fendas, com espaçamento ( $d$ ) entre elas, igualmente distribuídas, e com largura das fendas muito pequenas ( $d \gg \lambda$ ); considera-se que quando a frente de onda plana incidir sobre estas fendas da placa de vidro, cada uma das fendas apresenta comportamento como se fosse uma fonte pontual, o que irá provocar a interferência luminosa da luz difratada. Verificando-se no anteparo a representação gráfica da intensidade de luz na região do claro central. Supostamente a existência de uma única fenda apresentaria nesta região um padrão de difração, representado pela linha pontilhada, mas como existem mais fendas, aparecem para a região central 3 picos de interferência.



Simulação 10.2.1 - Luz atravessando uma placa com inúmeras fendas próximas, provoca um padrão de interferência devido a rede de difração.

Na simulação acima (simulação 10.2.1), a localização dos picos de interferência é análogo à situação do experimento de fenda simples, portanto a posição das franjas claras (linha pontilhada) é a mesma do que dos picos na região de intensidade máxima (claro central), portanto, pode se escrever:

$$\text{sen}(\hat{A}) = \frac{n \cdot \lambda}{d}$$

Substituindo-se apenas  $n$ , por  $m$  para representar-se à ordem numérica dos picos de intensidade máxima (franjas brilhantes), têm-se:

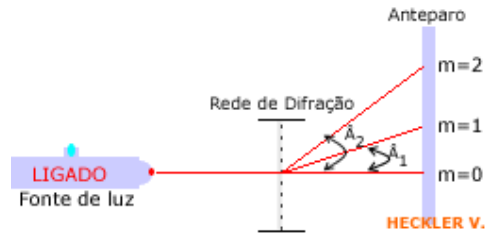
$$\text{sen}(\hat{A}) = \frac{m \cdot \lambda}{d}$$

Precisa-se levar em consideração, que a figura de interferência formada no anteparo, é provocada de forma superposta entre as difrações e a interferência originadas por cada uma das fendas. Tratando-se aqui o fenômeno da difração, por redes de transmissão, mas verifica-se que alguns casos a interferência é formada a partir da difração por redes de reflexão, exemplo, a obtenção do espectro de cores incidindo luz branca em um CD.

Com as redes de difração, se pode obter o espectro de cores emitidas por substâncias, através de uma técnica conhecida como espectroscopia, ou seja, diferentes fontes podem ser analisadas, suas características, composição química, um exemplo, são as linhas espectrais do vapor de mercúrio ([estudadas no capítulo 2.2](#)), oportunizando-se o estudo dos diferentes comprimentos de onda das mesmas.

**Responda as questões abaixo:**

1- Supondo-se que na figura abaixo a fonte de luz representada têm comprimento de onda de  $3,4 \times 10^{-7} \text{m}$ , e a rede de difração possui 3400 linhas por cm. Os pontos  $m=0$ ,  $m=1$  e  $m=2$ , representam os pontos brilhantes (interferência construtiva) projetados no anteparo. Para esses pontos em questão determine o ângulo  $\hat{A}$ .



### 10.3 - Difração por Reflexão

Observa-se que a incidência da luz branca (luz solar) no CD provoca a reflexão do espectro de cores, conforme a figura 10.3.1.



Figura 10.3.1 - Foto mostrando a difração do espectro da luz solar.

Ao analisar-se a trilha do CD, observa-se uma seqüência de traços com um milésimo de milímetro de largura e profundidade igual a um sexto dessa largura, não vista a olho nu, na figura 10.3.1 representa-se estas trilhas ampliadas.

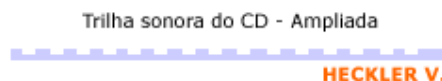
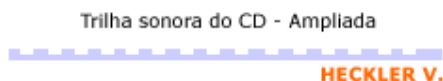


Figura 10.3.1 - Representação das trilhas sonoras de um CD.

Os raios de luz, ao incidirem nos inúmeros traços do CD, vão refletir inúmeros raios refletidos que interferem entre si, de forma análoga à rede de difração visto no [item 10.2](#).

## Questões para você responder:

1- Faça uma representação na figura abaixo de como ocorre a difração por reflexão, quando a luz branca incidir no CD.



2- Se incidirmos luz solar sobre uma superfície de vidro polido de um espelho, é possível verificar a fenômeno da difração por reflexão? Justifique a sua resposta.

## POLARIZAÇÃO

### 11.1 - Polarização da Luz e seus Efeitos

A polarização é uma propriedade das ondas eletromagnéticas (ondas transversais), como a luz, que no caso da polarização limita a onda a se propagar em um único plano de vibração. Como ondas longitudinais, como o som, oscilam na mesma direção da propagação, elas não podem ser polarizadas. A luz natural não está polarizada, o que significa que se pudéssemos olhar de frente um raio de luz veríamos o vetor elétrico vibrando igualmente em todas as direções perpendiculares ao raio. Se exemplifica na figura 11.1.1 alguns desses planos.



Figura 11.1.1 - Representação da parte elétrica de uma onda eletromagnética.

O mesmo é válido para outras fontes de luz, como os das lâmpadas que usamos em nossas casas (fluorescente, incandescente e outras), pois nestes casos também os a quantidade de planos de vibração das ondas eletromagnéticas são proporcionais a quantidade de elétrons que as produzem.

Para todos os casos citados acima, esse comportamento da luz pode ser percebido com o uso de materiais polarizadores. Dois polarizadores superpostos, mas com ângulos de polarização diferentes, podem produzir escuridão se forem superpostos com determinado ângulo. Um exemplo é o vidro do carro mostrado na figura abaixo (figura 11.1.2), onde a película colocada no vidro, pode produzir escuridão total para quem está localizado no exterior do carro. Os polaróides são utilizados também em instrumentos de laboratório, em óculos que reduzem a claridades, nos vidros dos carros e até nos vidros de nossas casas, para reduzir a claridade da luz nos ambientes.



Figura 11.1.2 - Figura do resultado obtido com o uso de película polarizadora no vidro de um carro.

Existem certos materiais que absorvem alguns dos feixes de luz, transmitindo outros, e são usados então para fabricar os filtros polaróides. Na simulação abaixo, as ondas de luz encontram um filtro polarizador, constituído de determinadas moléculas alinhadas. Neste primeiro polarizador que a luz encontra, na simulação 11.1.1, observa-se que este permite a passagem de apenas parte da radiação que vibra em uma direção particular, ou seja, paralelas às moléculas alinhadas.



Simulação 11.1.1 - Uma onda de luz ao passar por um filtro polarizador irá se movimentar apenas em um plano.

Ao repetir-se o exemplo anterior, e incluindo-se um segundo filtro polarizador (chamado de analisador), de forma a ficar com as linhas perpendiculares às linhas do primeiro, verifica-se então, que nenhuma luz transmitida pelo primeiro polarizador será capaz de passar pelo segundo, conforme simulação abaixo (simulação 11.1.2).



Simulação 11.1.2 - Uma onda de luz ao passar por dois filtros polarizadores perpendiculares entre si, nenhuma luz conseguirá passar.

Portanto, cada filtro polarizador (polaróide) só deixa passar luz num plano, ao associar-se dois polaróides de forma a formar  $90^{\circ}$  entre si nenhuma intensidade de luz passará, mostrando-se que existe uma relação entre a intensidade de luz que passa por dois polaróides e ângulo que estão associados.

Ao se fazer uso de óculos escuros, são os polaróides que bloqueiam a componente vibratória horizontal da luz, por isso na praia, a utilização de lentes polarizadoras nos

óculos de sol permite que parte da luz incidente sobre a lente seja absorvida, diminuindo o excesso de iluminação.

### Questões para você resolver:

1- Explique por que não ocorre o fenômeno de polarização com ondas sonoras.

2- Busque explicar o que acontece com a intensidade de luz que atravessa os polarizadores, caso formos girando o segundo polarizador (analisador) gradualmente, a partir da situação demonstrada na figura abaixo, e até o analisador chegar na situação da simulação 11.1.2, ou seja, perpendicular ao primeiro filtro polarizador?



Figura 11.1.3 - Polarizadores alinhados de forma paralela.

3- O que acontece com a intensidade de luz, quando acontecer a superposição de dois polaróides de óculos escuros e formarem entre si um ângulo reto de  $90^{\circ}$ .

4- A principal diferença entre o comportamento de ondas transversais e o das ondas longitudinais consiste no fato de que estas:

- a) não produzem efeitos de interferência.
- b) não se refletem.
- c) não se refratam.
- d) não se difratam.
- e) não podem ser polarizadas.

5- Luz linearmente polarizada (ou plano-polarizada) é aquela que:

- a) apresenta uma só frequência.
- b) se refletiu num espelho plano.
- c) tem comprimento de onda menor que o da radiação ultravioleta.
- d) tem a oscilação, associada à sua onda, paralela a um plano.
- e) tem a oscilação, associada à sua onda, na direção de propagação.

6- Considere as informações a seguir:

I) A distância focal de uma lente depende do meio que a envolve.

II) A luz contorna obstáculos com dimensões semelhantes ao seu comprimento de onda, invadindo a região de sombra geométrica.

III) Luz emitida por uma fonte luminosa percorre o interior de fibras óticas, propagando-se de uma extremidade à outra.

Os fenômenos óticos melhor exemplificados pelas afirmações I, II e III são, respectivamente, os seguintes:

- a) refração, difração e reflexão total.
- b) refração, interferência e polarização.
- c) espalhamento, difração e reflexão total.
- d) espalhamento, interferência e reflexão total.
- e) dispersão, difração e polarização.

As questões de vestibular são:  
Questão 4 - UFRGS

Questão 5 - ITA  
Questão 6 - UFRGS



## REFERÊNCIAS DO CD-ROM

Para construção desse material didático, nos baseamos em diversos autores, referenciados abaixo, dos quais extraímos idéias, exemplos, exercícios, experimentos, simuladores, contextualizando-os e adaptando-os à nossa proposta didática, buscando enriquecer o que já fora construído anteriormente, com o objetivo único de tornar o Ensino de Ótica na escola do Ensino Médio mais prazeroso e eficaz.

BALZARETTI, N. M. **Óptica física & física moderna**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/semanas-unidadeI.htm>>. Acesso em 10 jan. 2004.

BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Tópicos de física 2**. São Paulo: Saraiva, 2001.

BONJORNO, J. R. et al. **Física: História & Cotidiano**. São Paulo: FDT, v.2 e v.3, 2003.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As Faces da Física**. São Paulo: Moderna, 1997.

DAVIDSON COLLEGE. **Physics Applets**. Disponível em: <<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>>. Acesso em: 12 abr. 2004.

DUKE, P. Brigham Young University. **Color Box Applet**. Disponível em: <<http://www.phys.utb.edu/~pdukes/PhysApplets/appmenu.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

EISEBERG, R. **Física quântica**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FENDT, W. **Applets Java de física**. Disponível em: <<http://www.walter-fendt.de/ph11br>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

FENDT, W. **Applets Java de física - traduzidos pela CEPA/IFUSP**. Disponível em: <<http://cepa.if.usp.br/walterfendt/>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

FENDT, W. **Refraction of Light**. Disponível em: <<http://phys.kookmin.ac.kr/~key/physengl/refraction.htm>>. Acesso em: 15 jun. 2003.

FUN-KWUN HWANG. **Lente fina - lente e espelho convergentes/divergentes**. Disponível em: <[http://www.cepa.if.usp.br/fkw/Lens/lens\\_e.html](http://www.cepa.if.usp.br/fkw/Lens/lens_e.html)>. Acesso em: 15 jun. 2004.

FUN-KWUN HWANG. **NTNU JAVA - Virtual Physics Laboratory - FORUM**. Disponível em: <<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava>>. Acesso em: 15 jun. 2004.

FUN-KWUN HWANG. **Thin Lens (converging/diverging lens/mirrors)**. Disponível em: <[http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/Lens/lens\\_e.html](http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/Lens/lens_e.html)>. Acesso em: 15 jun. 2004.

GASPAR, A. **Física: eletromagnetismo e física moderna**. São Paulo: Ática, v. 3, 2000.

GASPAR, A. **Física: Ondas, óptica e termodinâmica**. São Paulo: Ática, v. 2, 2000.

GIESEN, J. **RGB Color Applet**. Disponível em: <<http://www.jgiesen.de/ColorTheory/RGBColorApplet/rgbcolorapplet.html>>. Acesso em: 2 ago. 2003.

HALLIDAY; D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: ótica e física moderna**. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 1996.

HALLIDAY; D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentals of physics**. 4th ed, 1993.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. Porto Alegre: Bookmam, 2002.

HUMBLE, J. **Compton Scattering Effect - Java Physics Simulation Project**. Disponível em: <[http://www.sics.se/~humble/phys\\_sim/](http://www.sics.se/~humble/phys_sim/)>. Acesso em: 4 ago. 2002.

KAMIKAWA, S. **The image by the concave lens.** Disponível em: <[http://www.bekkoame.ne.jp/~kamikawa/cavelens/cavele\\_e.htm](http://www.bekkoame.ne.jp/~kamikawa/cavelens/cavele_e.htm)>. Acesso em: 12 abr. 2004.

KISELEV, S.; KISELEV, T. Y. **Interactive Physics and Math with Java.** Disponível em: <[http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro\\_physics/kisalev/](http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/)> Acesso em: 15 jun. 2003.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física.** São Paulo: Scipione, v.2 e v.3, 2000.

MEES, A. A. **Efeito fotoelétrico e compton.** Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~amees/moderna.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2003.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica:** ótica, relatividade e física quântica. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, v. 4, 1998.

OLIVEIRA FILHO, K. de S.; SARAIVA, M. de F. O. **Astronomia e astrofísica.** disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

PARANÁ, D.N.S. **Física:** Termologia, Óptica e Ondulatória. São Paulo: Editora Ática, v.2, 1999.

Physik-Interaktiv III. Disponível em: <<http://didaktik.physik.uni-wuerzburg.de/~pkrahmer/home/java2.html>>. Acesso em: 12 abr. 2004.

PHYSICS 2000. **Young's Two-Slit Experiment with Laser Light.** Disponível em: <<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

RAMALHO, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T. **Os fundamentos da física 2.** São Paulo: Moderna, v. 2, 1999.

RONALD, R. F. **Índice sobre as leis de gauss.** Disponível em: <<http://penta3.ufrgs.br/physlet/fisica/physlets>>. Acesso em: 12 abr. 2004.

SANTOS, C. A. **Links para efeito compton.** Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/~cas/links\\_para\\_efeito\\_compton.html](http://www.if.ufrgs.br/~cas/links_para_efeito_compton.html)>. Acesso em: 15 jun. 2003.

SCHIEL, D. et al. **Programa Educ@r:** ótica para ensino médio. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/optica>>. Acesso em: 20 mar. 2004.

SEARS e ZEMANSKY. **Física IV: Ótica e Física Moderna/** Hugh D Young, Roger A. Freedman. São Paulo: Addison Wesley, 2004.

TIPLER, A. P. **Física: Eletricidade e Magnetismo, Ótica.** Rio de Janeiro: LTC, vol.2. 2000.

TORRES, C. M. A. et al. **Física:** Ciência e tecnologia. São Paulo: Moderna, 2001.

VTOROV, V. G. **Young's Double Slit Interference.** Disponível em: <<http://vsg.quasihome.com/interf.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2004.

WARNER, Philip. **Photoelectric Effect.** Disponível em: <<http://wigner.byu.edu/Photoelectric/Photoelectric.html>> Acesso em: 04 ago. 2002.

## APÊNDICE B – AVALIAÇÃO DO MATERIAL

Neste apêndice disponibilizamos o instrumento de avaliação utilizado para avaliar qualitativamente o material junto aos alunos, bem como os dados obtidos em função de sua aplicação.

### QUESTIONÁRIO APLICADO EM ALUNOS DA TERCEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO.

Perante a implantação dessa nova metodologia de trabalho, com alunos do Ensino Médio, você é uma pessoa privilegiada, pois está tendo a oportunidade de auxiliar de forma significativa no avanço das discussões acerca do processo de ensino/aprendizagem de Física nas escolas de Ensino Médio. Contamos para tanto com a sua ajuda no que tange a responder o formulário abaixo, com ética, responsabilidade e autenticidade, em relação àquilo que você vivenciou quando da aplicação do material de ótica feita pelo professor Valmir Heckler.

1- O material de ótica disponibilizado em CD-ROM foi importante para sua aprendizagem em ótica.

- a) concordo plenamente.
- b) discordo.
- c) concordo com restrições.
- d) discordo plenamente.
- e) concordo.

2- Acredita ter aprendido os tópicos de ótica com auxílio do material disponibilizado em CD-ROM.

- a) discordo.
- b) concordo com restrições.
- c) discordo plenamente.
- d) concordo.
- e) concordo plenamente.

3- Você classifica o nível do material de ótica disponibilizado em CD-ROM, em:

- a) péssimo.
- b) regular.
- c) bom.
- d) muito bom.
- e) excelente.

4- Classifique de 1 a 5, segundo o grau de importância. O que foi mais útil para você durante o processo de ensino/aprendizagem da ótica?

- ( ) as aulas expositivas do professor na sala de aula.
- ( ) as aulas no laboratório de informática com uso do CD-ROM.
- ( ) a discussão dos exercícios na sala de aula.
- ( ) o estudo do assunto no livro didático.
- ( ) as aulas experimentais no Laboratório de Física.

5- Os fenômenos óticos estudados são importantes para a minha formação.

- a) discordo plenamente.
- b) concordo com restrições.
- c) concordo plenamente.
- d) concordo.
- e) discordo.

6- Este novo método de ensino, através do auxílio da informática, fazendo uso de simuladores e imagens, despertou maior interesse pelas aulas de Física.

- a) concordo plenamente.
- b) discordo.
- c) concordo com restrições.
- d) discordo plenamente.
- e) concordo.

7- Frente ao uso da informática no ensino da ótica, o professor foi à pessoa que possuía todas as informações, transmitindo-os integralmente, deixando muito pouco tempo para interagir com o material e os colegas, não me orientando e desafiando suficientemente para um bom uso do material, e para que eu conseguisse atingir aprendizagem satisfatória.

- a) concordo com restrições.
- b) concordo.
- c) concordo plenamente.
- d) discordo plenamente.
- e) discordo.

8- O uso dos simuladores interativos (Java applet), é muito importante para o entendimento dos tópicos estudados.

- a) discordo plenamente.
- b) concordo com restrições.
- c) concordo plenamente.
- d) concordo.
- e) discordo.

9- Acredito que teria aprendido mais sobre ótica, se as aulas tivessem acontecidas sem o auxílio da informática, com as explicações do professor no quadro e estudo no livro didático.

- a) discordo.
- b) concordo com restrições.
- c) discordo plenamente.
- d) concordo.
- e) concordo plenamente.

10- As simulações não interativas que aparecem no material de ótica, mostrando um avanço temporal de determinado fenômeno ou evento da física, foram mais significativos para minha aprendizagem, do que se os mesmos fossem representados por desenhos feitos pelo professor no quadro.

- a) discordo plenamente.
- b) concordo com restrições.
- c) concordo plenamente.
- d) concordo.
- e) discordo.

11- Este material atendeu às suas necessidades? \_\_\_\_\_

12- Qual é a sua impressão sobre esta metodologia de ensino? \_\_\_\_\_

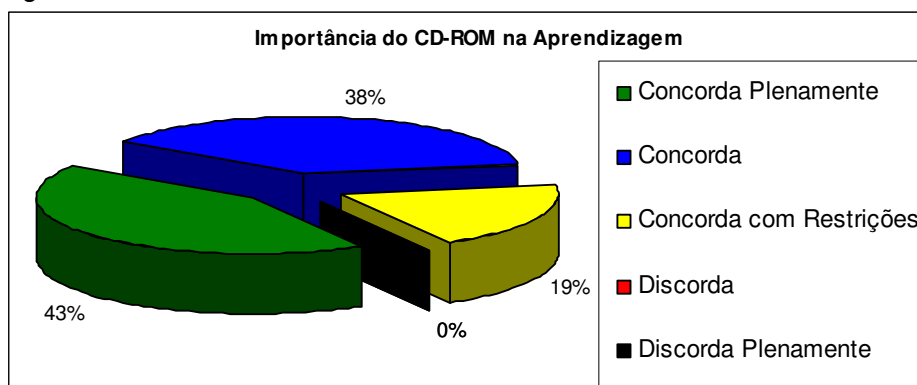
13- Indique os pontos fortes e os pontos fracos, frente à adoção desta metodologia de ensino no estudo da ótica.

14- Frente ao uso dessa metodologia de ensino, a postura do professor foi a de um orientador e facilitador, auxiliando nos casos de dúvidas, indicando caminhos para o bom uso do material, mostrando possíveis falhas, nas minhas concepções e das relações que eu construí, mostrando relações importantes entre os diferentes tópicos, indicando novos caminhos para facilitar a aprendizagem, me desafiando com novas questões.

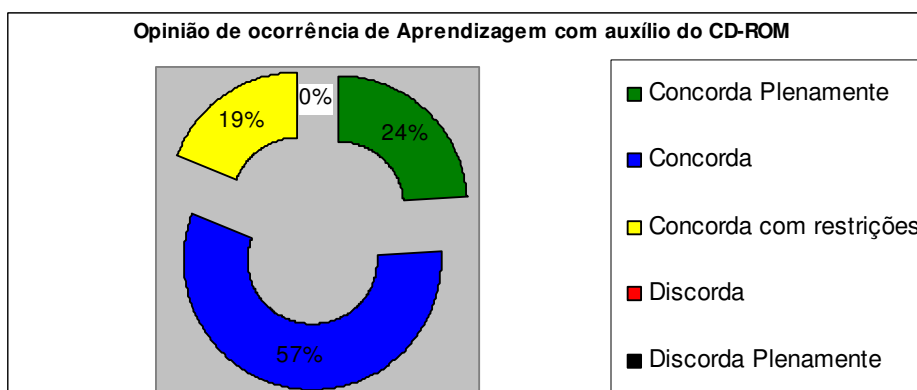
- a) concordo plenamente.
- b) discordo.
- c) concordo com restrições.
- d) discordo plenamente.
- e) concordo.

### ANÁLISE DE DADOS DA AVALIAÇÃO DA NOVA METODOLOGIA DE ENSINO DE ÓTICA - ENSINO MÉDIO

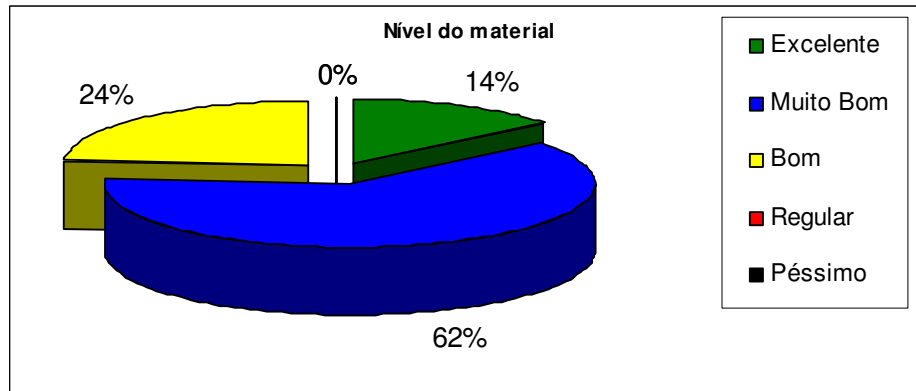
Questão 1 - O material de ótica disponibilizado em CD-ROM foi importante para a sua aprendizagem em ótica.



Questão 2 - Acredita ter aprendido os tópicos de ótica com auxílio do material disponibilizado em CD-ROM



Questão 3- Você classifica o nível do material de ótica disponibilizado em CD-ROM, em:

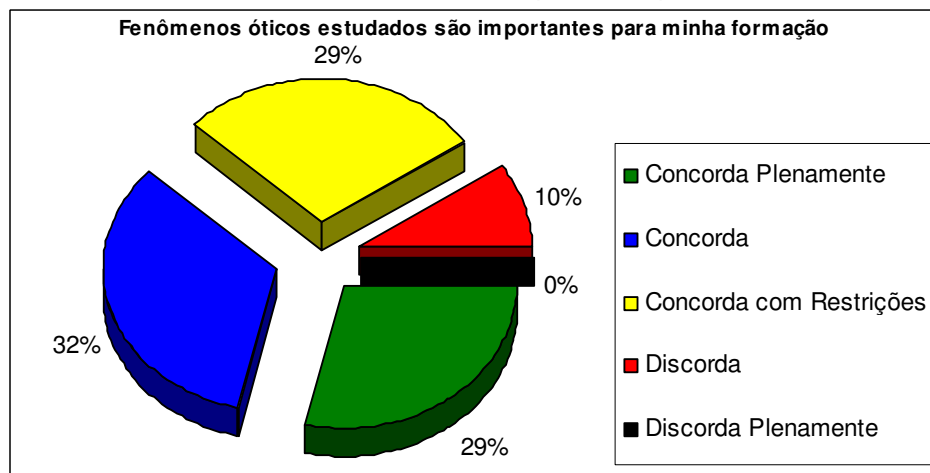


Questão 4 - Classifique de 1 a 5, segundo o grau de importância. O que foi mais útil para você durante o processo de ensino/aprendizagem da ótica.

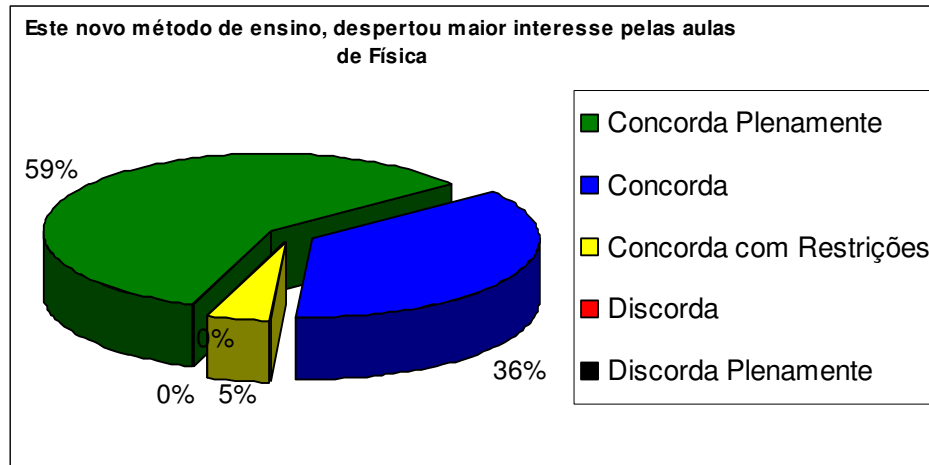
**Grau de importância atribuído**  
aulas expositivas  
aulas no Laboratório c/ CD-ROM  
discussão de exercícios na aula  
estudo no livro didático  
aulas experimentais (Laboratório)  
**Grau de importância atribuído**

	1	2	3	4	5
aulas expositivas	1	4	9	6	2
aulas no Laboratório c/ CD-ROM	11	6	1	2	0
discussão de exercícios na aula	2	5	7	5	1
estudo no livro didático	2	0	1	4	14
aulas experimentais (Laboratório)	5	6	2	4	4
<b>Grau de importância atribuído</b>	1	2	3	4	5

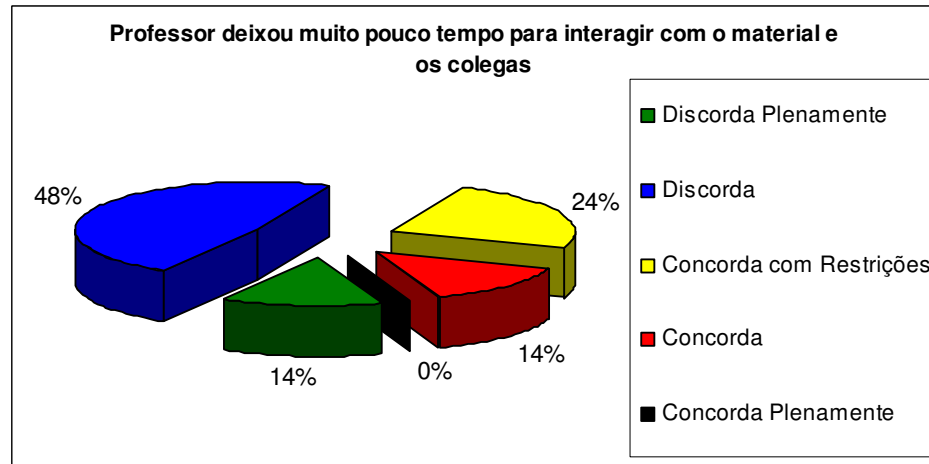
Questão 5- Os fenômenos óticos estudados são importantes para a minha informação.



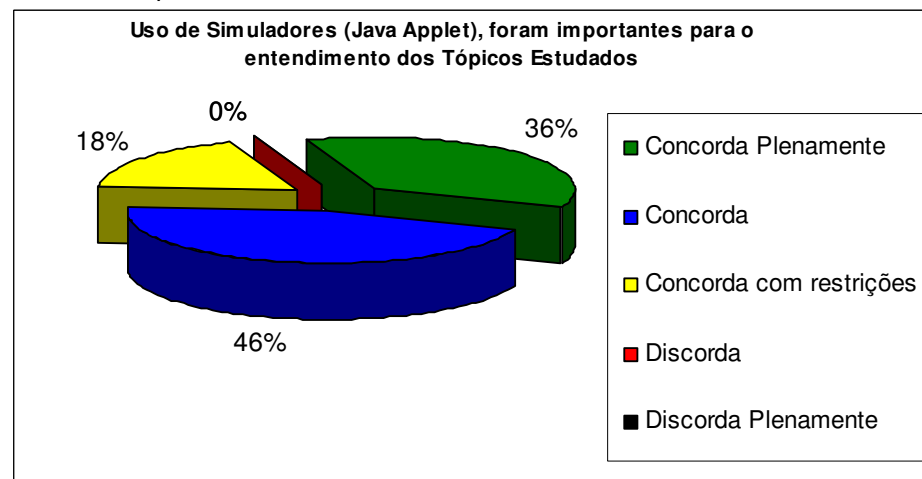
Questão 6- Este novo método de ensino, através do auxílio da informática, fazendo uso de simuladores e imagens, despertou maior interesse pelas aulas de Física.



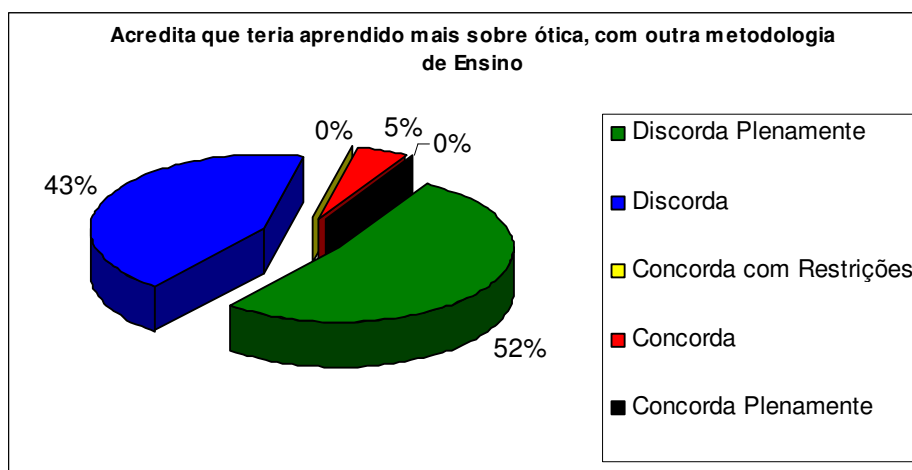
Questão 7- Frente ao uso da informática no ensino da ótica, o professor deixou muito pouco tempo para interagir com o material e os colegas, não me orientando e desafiando suficientemente para um bom uso do material.



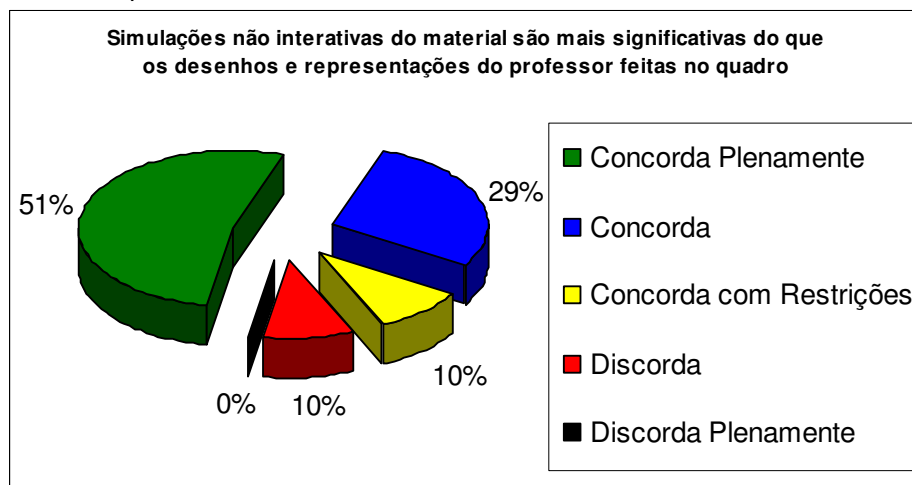
Questão 8- O uso de simuladores interativos (Java Applet), é muito importante para o entendimento dos tópicos estudados.



Questão 9 - Acredito que teria aprendido mais sobre ótica, se as aulas tivessem acontecidas sem o auxílio da informática, com as explicações do professor no quadro e estudo no livro didático.



Questão 10 - As simulações não interativas que aparecem no material de ótica, mostrando um avanço temporal de determinado fenômeno ou evento físico, foram mais significativas para minha aprendizagem, do que se os mesmos fossem representados por desenhos feitos pelo professor no quadro.



Questão 11 - Este material atendeu às suas necessidades?

Nº/alunos	Respostas apresentadas
8	Sim, consegui aprender bastante.
3	Em partes. Algumas partes do conteúdo ficaram mais claras com o uso do CD-ROM.
1	Sim, pois fica mais fácil aprender com simulações e é mais fácil "localizar" com o material (CD-ROM).
1	Sim, pois é mais fácil e muito mais interessante, porque é feito uso do computador para a aprendizagem.
1	Com certeza.
1	Todas as necessidades não, mas foi melhor do que trabalhar com o livro didático.
1	Sim, facilitando o entendimento do conteúdo, podendo ser proveitoso para minha vida (lentes, espelhos).
1	Sim, acredito que aprender o conteúdo dessa forma desperta maior interesse. O



	recurso visual é muito importante, ainda mais se tratando de ótica.
1	Sim, pois através dele aprendi muito mais coisas do que se as aulas fossem feitas na sala de aula.
1	Sim, o uso deste material facilita a compreensão do conteúdo.
1	Sim, com ele deu para ter uma noção melhor. E é mais fácil de entender.
1	Em partes, pois faltou um lugar para fazer as anotações, como se fosse uma apostila do mesmo conteúdo onde podemos anotar.

Questão 12 - Qual é a sua impressão sobre esta metodologia de ensino?

**Aluno 1-** Toda metodologia que poderá obter uma maior conhecimento do aluno é válida.

**Aluno 2-** É legal, só que aulas em sala de aula também são importantes, por isso é necessário haver as duas metodologias para haver uma boa aprendizagem.

**Aluno 3-** Ótimo, ajudou bastante.

**Aluno 4-** A metodologia em si é muito boa. Mas deve haver muita concentração por parte dos alunos.

**Aluno 5-** É muito mais fácil de entender, e também não fica uma aula monótona.

**Aluno 6-** Muito boa, pois pode-se representar situações diferentes, que em sala de aula se tornaria difícil.

**Aluno 7-** Muito boa, mais interativa.

**Aluno 8-** Muita boa facilita todo o entendimento.

**Aluno 9-** Muito importante é, preciso renovação para que as aulas não se tornem monótonas, assim todos ficam mais atentos.

**Aluno 10-** O uso da informática é importante, mas a interação entre alunos e professor, também é muito valiosa.

**Aluno 11-** Achei bom trabalhar com este material, pois ele me interessava mais do que um livro.

**Aluno 12-** Eu acho positiva, pois é mais envolvente.

**Aluno 13-** Acho muito legal e proveitosa, não precisamos nos preocupar em copiar conteúdos, as figuras e simulações ajudam na compreensão do conteúdo.

**Aluno 14-** Muito boa, assim o interesse aumenta, pois é um material diferente.

**Aluno 15-** Esclarecedora, inovadora, interessante e eficiente.

**Aluno 16-** O avanço da tecnologia explica tudo pois, com essa metodologia tanto o nosso ensino como o nosso entendimento melhorou muito.

**Aluno 17-** Que será cada vez mais usada daqui para frente; é mais eficiente - os professores terão que se adaptar com a informática, atualizar como o nosso professor Valmir Heckler.

**Aluno 18-** Ótimo. Pois no meu caso, adoro "lidar" com o computador. Me chama mais atenção.

**Aluno 19-** Boa.

**Aluno 20-** Boa, é muito mais fácil aprender com o material.

**Aluno 21-** Não respondeu.

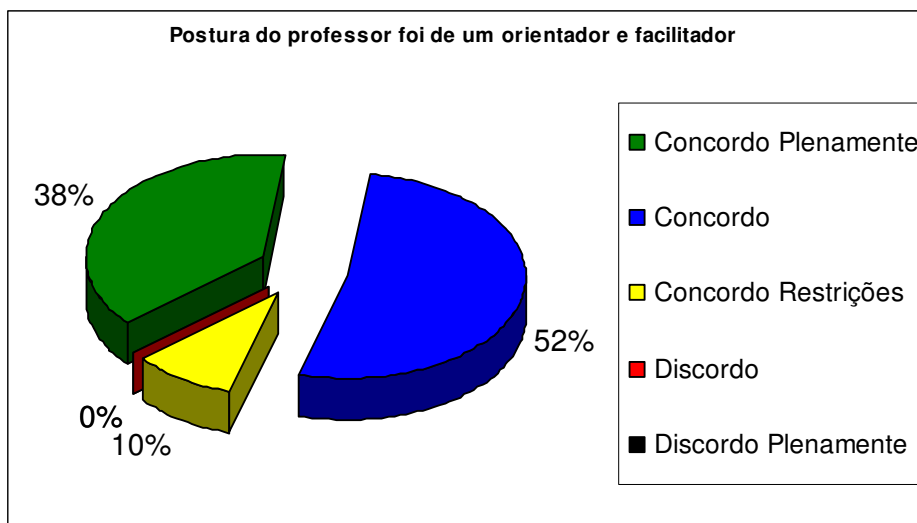
Questão 13 - Indique os pontos fortes e os pontos fracos, frente à adoção desta metodologia de ensino no estudo da ótica.

<b>Aluno</b>	<b>Respostas sobre pontos fortes, frente à adoção desta metodologia de ensino no estudo da ótica</b>
1	Os alunos prestam mais atenção na aula, tem mais interesse.
2	As figuras que temos acesso facilitam muito o entendimento dos assuntos.
3	Tudo excelente.
4	A interatividade com o uso do computador facilita tudo e a vantagem de ter o material em casa.
5	Em meu ver o material está completo, e o que mais ajudou foi os desenhos que no CD-ROM ficaram mais fáceis de serem entendidas.
6	As simulações facilitam muito o entendimento; é gostoso e interessante aprender assim, com coisas novas e que "prendem" a atenção; o conteúdo é completo.
7	Não indicou.
8	As simulações ajudam num maior entendimento, podendo vê-las com mais clareza como realmente acontece, não precisamos copiar o conteúdo, podendo prestar mais atenção nas aulas.
9	É a interação simultânea do aluno com o material, enquanto o professor explica a respeito do assunto para o aluno.
10	Apreendi mais; o material me chamava mais atenção do que um livro.
11	Fortes com certeza é poder visualizar o que acontece, com detalhes.
12	Vendo os desenhos e as simulações, é mais fácil de entender o conteúdo.
13	Acho que com este material a gente só teve a ganhar. É muito bom o conteúdo dele. O que foi bom também é que na medida que a gente utiliza o professor explica e acompanha no quadro.
14	A aula avança mais rapidamente, é um material completo e bem compreensível.
15	Chama a atenção dos alunos ao aprendizado.
16	Só há pontos fortes, os desenhos são precisos, facilitando a aprendizagem.
17	Não indicou.
18	As simulações.
19	Aumento da aprendizagem, facilitando a mesma com este novo método de ensino.
20	Facilidade de aprender devido às simulações, despertando o interesse pela Física.
21	Melhor visualização e praticidade do conteúdo. Tornou as aulas mais atrativas.

<b>Aluno</b>	<b>Respostas sobre pontos fracos, frente à adoção desta metodologia de ensino no estudo da ótica</b>
1	Pode haver distração com o uso do computador.
2	Ficar muito tempo na frente do computador causa cansaço.
3	A distração dos alunos com outros materiais que o computador oferece.
4	A demora para a entrada no material em certas ocasiões.
5	A única dificuldade que encontrei é que estudando no laboratório de informática, pode desviar um pouco nossa atenção, mas nada impede de estudar bem em casa.
6	Em certas ocasiões dá um pouco de sono e os olhos ardem, por causa da tela do computador; O CD-ROM não pode ser visto (conteúdo) sem ter um computador.
7	Nós fizemos poucas atividades, foi muito rápido, as aulas deveriam ser mais lentas e detalhadas.
8	Pode se tornar um pouco cansativo devido ao longo tempo em frente ao computador.
9	É que às vezes o computador e o próprio material podem desviar a atenção do aluno ao professor.
10	Só achei um pouco cansativo, pois ficava muito tempo em frente ao computador.

11	Acredito que aprenderia mais com suas aulas em sala de aula. Suas aulas expositivas são muito valiosas para o meu aprendizado. Com certeza as aulas valerem mais em sala de aula do que no laboratório, esse foi meu ponto fraco, pois ficamos pouco em sala de aula.
12	O conteúdo foi passado muito rápido e fizemos poucos exercícios.
13	Alguns erros (português).
14	Baseamos o estudo mais nos desenhos do que no conteúdo escrito.
15	Deveria haver espaços para resolução dos exercícios no CD.
16	Não indicou.
17	No computador existem muitas outras possibilidades de coisas para fazer; faltou uma apostila com o mesmo conteúdo; e mais aulas práticas (no laboratório de física).
18	Erros de português.
19	Nenhum.
20	Falta de atenção que pode ocorrer, devido à internet. Algumas vezes perde muito tempo até começar a aula, devido a problemas do PC.
21	Pouco tempo para tratar os conteúdos.

Questão 14- Frente ao uso dessa metodologia de ensino, a postura do professor foi a de um orientador e facilitador, auxiliando nos casos de dúvidas, me desafiando com novas questões.



## APÊNDICE C – PROVAS APLICADAS

Neste apêndice disponibilizamos as duas provas de ótica aplicadas na turma, bem como a média de acertos de cada aluno referente aos conteúdos de eletricidade e a ótica. As questões objetivas das provas foram copiadas de diferentes autores.

### PROVA I DE ÓTICA



**SOCIEDADE EDUCACIONAL TRÊS DE MAIO**  
**CENTRO DE ENSINO MÉDIO SETEM**  
*Unidade de Ensino Médio - 6ª a 8ª série e Ensino Médio*

Avaliação I de ótica (FÍSICA)

Nome do aluno: \_\_\_\_\_ Código: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Disciplina: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Professor: \_\_\_\_\_

*Caro educando! Através dessa ferramenta de avaliação, você terá a oportunidade de ler, refletir, relacionar, sobre os conteúdos de ótica.*

1- Cite e explique a principal diferença e semelhança, entre uma onda luminosa e uma onda de rádio.

---

---

2- Levando em consideração o estudo do espectro eletromagnético, a característica que certamente diferencia uma luz monocromática azul de uma outra vermelha é:

- a) a amplitude.                      b) a frequência.                      c) a intensidade.  
d) a velocidade.                      e) o número de harmônicos.

3- Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

I. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

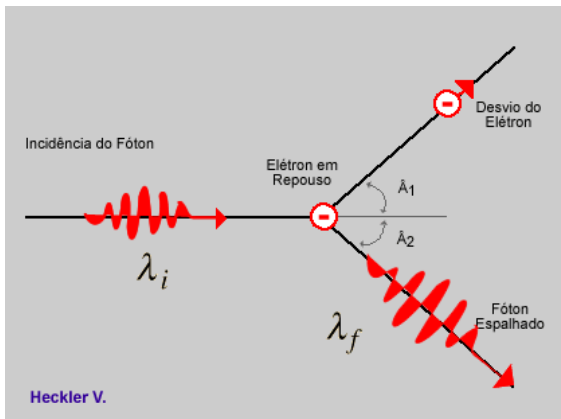
II. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.  
b) Apenas II.  
c) Apenas I e II.  
d) Apenas I e III.  
e) I, II e III.

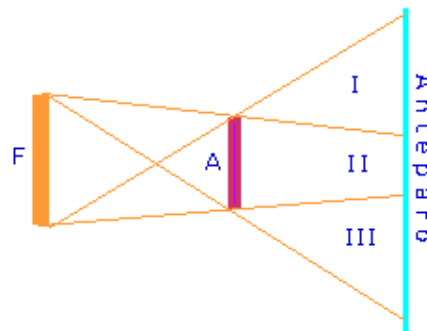
4- Baseado no estudo Efeito Compton, explique o que acontece com as características do fóton após colidir com o elétron, conforme situação mostrada na figura abaixo. (comprimento de onda, frequência, energia cinética do elétron e energia do fóton).



5- Podemos afirmar corretamente, que o experimento realizado por Arthur H. Compton, proporciona:

- uma evidência de que o conceito de fóton, para a luz é verdadeira.
- que quando uma onda eletromagnética de frequência inicial incide sobre um material que contém cargas elétricas, as cargas oscilam com esta frequência e irradiam ondas eletromagnéticas de mesma frequência.
- que o fóton espalhado terá mais energia e, portanto, frequência mais alta que a do fóton incidente.
- que o comprimento de onda do fóton incidente ( $\lambda_i$ ), é maior que o comprimento de onda do fóton espalhado ( $\lambda_f$ ).
- que o fóton ao colidir com o elétron, não sofre alteração na sua energia.

6- a) Na figura abaixo, F é uma fonte de luz extensa e A um objeto opaco. Determine para I, II e III, se nestas regiões a formação é de sombra ou penumbra.



b) Observe a figura acima e considere, apenas que a fonte de luz extensa foi substituída por uma fonte de luz pontiforme. Faça uma representação gráfica da propagação dos raios de luz e determine se existem regiões com formação de sombra e ou penumbra.

7- a) Explique através de exemplo demonstrativo, como a câmara escura de orifício produz imagens de cabeça para baixo, quando observadas por trás do anteparo?

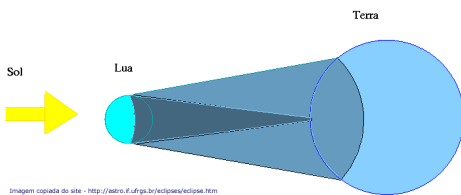
b) Sabendo-se que uma câmara escura de orifício apresenta comprimento de 30 cm, e que a partir de um objeto de altura 3 m obteve-se, no anteparo, uma imagem de altura 10 cm. Determine a distância do objeto até a câmara. (Demonstre as relações usadas para resolver a questão)

8- Demonstre através de um esquema, envolvendo o Sol, Terra e a Lua, as suas quatro fases: Lua nova, Lua em quarto crescente, Lua cheia e Lua em quarto minguante.

a) Explique em qual das fases pode ocorrer um eclipse da Lua.

b) Explique em qual das fases pode ocorrer um eclipse do Sol.

9- Durante um eclipse solar, um observador,



a) no cone de sombra, vê um eclipse parcial.

b) na região da penumbra, vê um eclipse total.

c) na região plenamente iluminada, vê a lua eclipsada.

d) na região da sombra própria da Terra, vê somente a lua.

e) na região plenamente iluminada, não vê o eclipse solar.

10- Referente à natureza da luz, podemos afirmar corretamente que:

a) a luz é unicamente constituída de minúsculas partículas.

b) a luz é um tipo especial de onda eletromagnética.

c) é apenas um tipo de radiação, ou seja, um tipo de energia que se propaga no espaço.

d) a luz não é às vezes onda e às vezes partícula, mas sim onda e partícula o tempo todo, apenas manifesta um caráter ou outro em diferentes fenômenos.

e) um feixe estreito de Luz é costumeiramente chamado de raio de luz, e serve para explicar todos os fenômenos da ótica.

11- Explique por que determinados animais conseguem enxergar uma parte dos corpos à noite, os quais o homem não pode enxergar?

## PROVA II DE ÓTICA

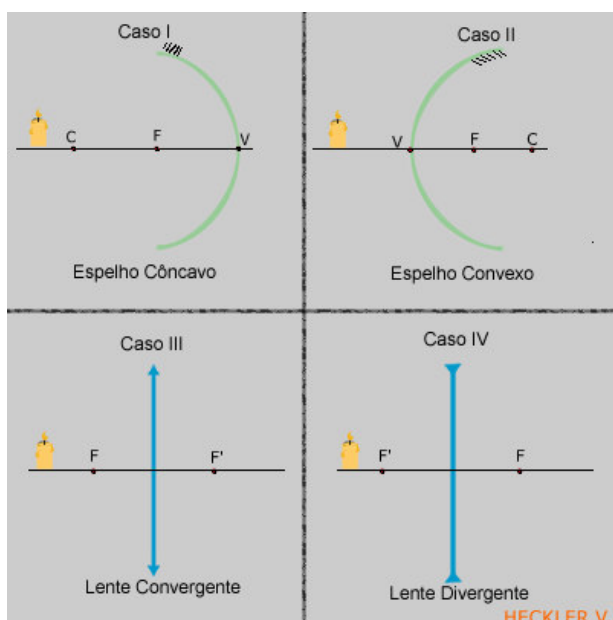


Ensino Médio

Prova II de ótica – Prof. Valmir Heckler

Aluno: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

1- São dados os esquemas abaixo:



A classificação correta é:

- a) a imagem é maior nos casos I e II.
- b) a imagem é virtual nos casos I e II.
- c) a imagem é direita nos casos I e III.
- d) a imagem é real nos casos II, III e IV.
- e) a imagem é menor nos casos I, II e IV.

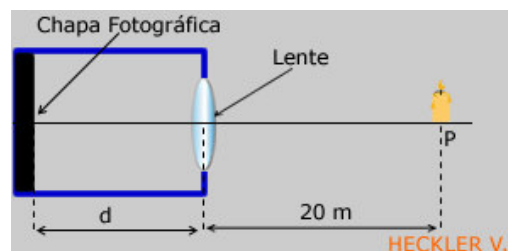
2- Usando uma lente de vidro num dia bem ensolarado, um escoteiro conseguiu acender uma fogueira no seu acampamento. Isso só foi possível porque a lente usada é do mesmo tipo que corrige:

I- a) miopia. b) estrabismo. c) astigmatismo. d) hipermetropia. e) daltonismo.

II- Explique a sua resposta anterior:

3- Uma máquina fotográfica é construída de uma lente de 10 cm de distância focal e uma chapa fotográfica, como mostra a figura. Um objeto P está à distância de 20 m da lente. Para que se obtenha uma imagem nítida do objeto, à distância  $d$  deve ser, aproximadamente:

- a) 10 cm.    b) 20 cm.    c) 5,0 cm.
- d) 15 cm.    e) 25 cm.



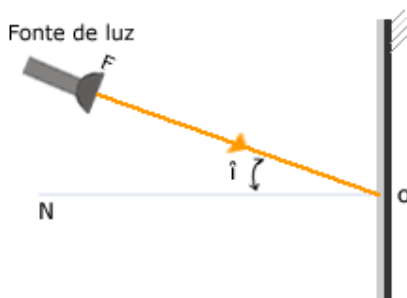
4- Um estudante curioso e perspicaz deseja saber a altura de um prédio. Num dia ensolarado e usando uma trena, ele mediu o comprimento da sombra do prédio e o comprimento de sua própria sombra, obtendo os valores de 20,0 m e 0,6 m, respectivamente. Sendo sua altura 1,80 m, o curioso rapaz concluiu, então, que a altura do prédio é de: (Demonstre a resolução da questão)

- a) 10,0 m.    b) 30,0 m.    c) 60,0 m.    d) 75,0 m.    e) 47,5 m.

5- Um observador está a 70 cm de uma lâmpada e na mesma reta em que estão a lâmpada e sua imagem produzida pelo espelho plano. O espelho encontra-se a 20 cm da lâmpada. Com base nesses dados, a distância entre o observador e a imagem da lâmpada, em cm, é: (Demonstre a resolução da questão).

- a) 20  
b) 30  
c) 70  
d) 90  
e) 110

6- Uma lanterna emite um feixe de luz cilíndrico que incide em um espelho plano no ponto O, como está indicado na figura abaixo.



Sendo que o ângulo de incidência desse feixe com a normal ao espelho é  $\hat{i}$ , é correto afirmar que:

(01) um observador só verá a luz da lanterna se estiver posicionado sobre uma reta fazendo um ângulo igual a  $\hat{i}$  com relação à normal N, passando pelo ponto O e no mesmo plano formado pelo raio incidente e a normal N.

(02) o ângulo que o feixe de luz refletido forma com o espelho é igual a  $\hat{i}$ .

(04) se a superfície em que o feixe de luz da lanterna incide não fosse totalmente polida, o observador poderia ver a luz da lanterna de qualquer ponto, localizado no mesmo lado da superfície em que o feixe de luz incide.

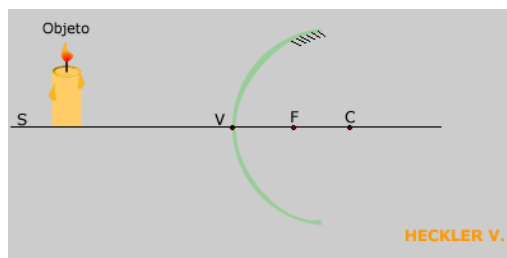
(08) uma vez que a superfície em que o feixe de luz da lanterna incide é totalmente polida, cada raio de luz incidente e refletido e a sua respectiva normal à superfície estão contidos em um mesmo plano.

(16) devido ao fenômeno de refração da luz, podemos ver os corpos sem luz própria quando iluminados.

Dê, como resposta, a soma das alternativas corretas.

7- A figura abaixo mostra um objeto colocado na frente de um espelho convexo. Represente através dos raios de luz incidentes e refletidos a formação da imagem, classificando-a em real ou virtual.



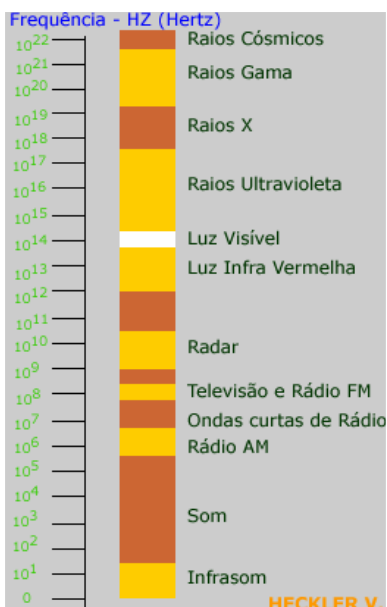


8- Para que haja reflexão total da luz, é necessário que o ângulo:

- a) de incidência seja maior que o ângulo limite.
- b) de refração seja igual ao ângulo limite.
- c) limite seja o dobro do ângulo de incidência.
- d) de incidência seja maior que o ângulo limite e que a incidência se dê do meio mais refringente para o menos refringente.
- e) de incidência seja maior que o ângulo limite e que a incidência se dê do meio menos refringente para o mais refringente.

9- A respeito da capacidade de visão do olho humano, analise os itens como verdadeiros ou falsos.

- ( ) Quando se olha para um objeto distante, a imagem forma-se na retina sem que seja necessário nenhum esforço de acomodação visual.
- ( ) A luz emitida pelos olhos incide nos objetos à volta e a eles retorna, complementando o fenômeno conhecido por capacidade visual.
- ( ) A luz atravessa a córnea localizada na parte central da superfície do globo ocular e passa, em seguida, pela pupila, que controla a entrada de luz, dilatando-se quando o ambiente externo tem pouca luz e contraindo-se na presença de muita luz.
- ( ) O cristalino é uma lente bicôncava e flexível que projeta na retina uma imagem real e invertida do objeto visualizado.



10- O espectro eletromagnético indicando várias radiações em função dos respectivos intervalos de comprimento de onda no vácuo, está representado na figura ao lado:

É correto afirmar que, no vácuo:

- a) a frequência para todas as radiações é a mesma.
- b) a velocidade de todas as radiações é a mesma.
- c) as ondas longas têm maior velocidade que os raios gama.
- d) as ondas de rádio têm frequência maior do que os raios X.
- e) a luz visível, o infravermelho e o ultravioleta têm mesma frequência.

11- Explique no que consiste o efeito fotoelétrico? E quando o mesmo pode ocorrer?

12- As questões abaixo se referem ao comportamento ondulatório da luz.

- a) Sabemos que numa câmara escura, o orifício de abertura é pequeno e, no entanto a imagem obtida no fundo da câmara, segue um comportamento geométrico da luz. Explique.
- b) a difração acontece com ondas. Sabemos que as ondas sonoras conseguem contornar um muro, pois podemos ouvir alguém que está falando atrás do mesmo. Por que não podemos ver essa pessoa atrás do muro?

13- O caráter ondulatório das radiações eletromagnéticas fica evidenciado:

- a) no efeito fotoelétrico.
- b) na interferência luminosa.
- c) na produção de pares.
- d) no efeito Compton.
- e) nos saltos quânticos.

14- O dualismo onda-partícula refere-se a características corpusculares presentes nas ondas luminosas e características ondulatórias presentes no comportamento de partículas, tais como elétrons. A natureza nos mostra que as características corpusculares e ondulatórias não são antagônicas mas, sim, complementares. Dentro os fenômenos listados, o único que **não** está relacionado com o dualismo onda-partícula é:

- a) o efeito fotoelétrico.
- b) a ionização de átomos pela incidência de luz.
- c) difração de elétrons.
- d) rompimento de ligações entre átomos pela incidência de luz.
- e) propagação, no vácuo, de ondas de rádio de frequência média.

### **DADOS SOBRE APROVEITAMENTOS NAS PROVAS**

Abaixo as médias de acertos dos alunos referentes provas de eletricidade do 2<sup>o</sup> Bimestre, e a relação da média de acertos das Provas de Ótica do 3<sup>o</sup> Bimestre, após termos trabalhado com o CD-ROM.

Aluno	Média de Acertos Provas Eletricidade	Média de Acertos Provas de Ótica
R. S.	67,86 %	54,00 %
A.R.	27,14 %	31,20 %
R. K.	50,00 %	30,00 %
D. Z.	28,57 %	30,80 %
M. R.	39,29 %	47,20 %
A.B.	50,00 %	66,00 %
F. M.	46,43 %	43,20 %
G. M.	25,00 %	39,20 %
L. D. F.	50,00 %	37,20 %
D.B.	23,57 %	30,00 %
E. L.	78,57 %	48,00 %
P. G.	33,57 %	60,00 %
A. F.	64,29 %	48,80 %
E. R.	64,29 %	Não fez as avaliações
M. L. S.	35,71 %	38,80 %
T. A.	28,57 %	62,80 %
J. W.	46,43 %	61,20 %

J. D.	32,14 %	55,20 %
E. S.	75,00 %	62,80 %
S. S.	60,71 %	61,20 %
J.S.	35,71 %	43,20 %
R. C.	57,14 %	59,20 %
<b>Média da turma</b>	<b>45,28 %</b>	<b>48,10 %</b>

EM AZUL: Alunos que aumentaram a média de acertos nas provas de ótica.

## **APÊNDICE D – COPYRIGHT E AUTORIZAÇÕES**

Neste apêndice disponibilizamos termos dos Java Applets e/ou as autorizações concedidas via e-mail pelos autores, permitindo o uso dos referidos simuladores no material desenvolvido.

-----Mensagem original-----

De: Jan Humble [mailto:humble@sics.se]  
Enviada em: sexta-feira, 12 de novembro de 2004 10:58  
Para: Valmir Heckler  
Assunto: Re: Java Applet - BRAZIL

Hello:

Please feel free to use my applet, with the proper credit of course.

The original applets are to be found on ...  
[http://www.sics.se/~humble/phys\\_sim/](http://www.sics.se/~humble/phys_sim/)

Here you will find two versions of the Compton applet as well.

If you wish to make use of the version in the virtual lab, please feel free to do so.

Let me know if I can be of some assistance.

Regards,

Jan

Valmir Heckler wrote:

> Hi,  
> I'm a teacher of high school teaching in Brazil and I am accomplishing  
> a research work and elaborating an interactive didactic material in a  
> Mastery proposal in physics teaching, the material is to be used in  
> classroom, and it will be distributed for the students in a free way,  
> therefore without commercial ends. As your Java applets are very  
> important and good in the physics area, I would like to use some of  
> Java applets, making download in the page "Source text  
> <Source%20text%20>[http://www.d.kth.se/~f93-jhu/phys\\_sim/compton/Compton.htm](http://www.d.kth.se/~f93-jhu/phys_sim/compton/Compton.htm)  
> <<http://www.cepa.if.usp.br/fkw>> /, altering nothing in the same ones,  
> respecting all the copyrights. The material will be available in CD-ROM  
> and on the internet but only for students (without commercial ends)  
> with the due references to the authors and mentioning to URL and  
> copyright. It would like to receive authorization to make use of some  
> simulators in the physics part of my proposal. After the approval of  
> the material for the Examining Banking of Mastery Course, I will send  
> you a copy of the dissertation and material.  
> I wait a return.  
> I hug,  
> \*Valmir Heckler\*\*\*

--

-----  
Jan Humble  
E-mail: [humble@sics.se](mailto:humble@sics.se)  
          [jch@cs.nott.ac.uk](mailto:jch@cs.nott.ac.uk)  
URL:      <http://www.sics.se/~humble>  
ICQ:      25307249  
-----

-----Mensagem original-----

De: Walter Fendt [mailto:mail@walter-fendt.de]  
Enviada em: quinta-feira, 11 de novembro de 2004 12:52  
Para: Valmir Heckler  
Assunto: Re: Java Applets - in Brasilien

Sehr geehrter Herr Heckler,

Sie können die Applets gerne für Ihre geplante CD verwenden.

Mit freundlichen Grüßen

Walter Fendt

Valmir Heckler wrote:

> Sehr Geerter Herr Walter Fendt,  
> Mein name ist Valmir Heckler und ich bin ein Lehrer, und unterrichte  
> Physik  
> an eine Schule hier in die Stadt von Três de Maio, im Bundesstat Rio  
> Grande  
> do Sul, in Brasilien. Ich mache zur Zeit eine Forschung fuer meine  
> Magisterarbeit, in dessen ich ein Interaktives didatisches Material fuer  
> das  
> studium der Physik ausarbeiten moechte. Dieses Material soll dann in die  
>  
> Schule, kostenlos, von den Studenten benutz werden und denen in CD-ROM  
> und  
> durch die Internet zur verfuegung gestellt werden.Da Ihre Java applets  
> sehr  
> wichtig fuer diese Arbeit sind, bitte ich Ihren Erlaubniss fuer den  
> download  
> von einigen dessen applets von der Site  
> <<http://www.walter-fendt.de/ph11br>> <http://www.walter-fendt.de/ph11br> zu  
>  
> machen, ohne irgendeine Veraenderung an denen zu machen und Ihren  
> Autorenrecht beruecksichtigen.Ich denke an keine  
> Geschaeftszweckmoeglichkeit  
> und alle Autorenreferenzen werden zitiert sowie auch das URL und die  
> copyright. Ich bitte Ihnen, deswegen um Ihre Genehmigung. Sobald ich  
> meine Pruefungen bestanden habe, werde ich Sie eine Kopie von der  
> Pruefungsarbeit und vons dass Material zusenden.  
> Im erwarten auf Ihre Antwort, bleibe ich Ihnen schon sehr Dankbar.  
> Herzliche Gruesse,  
>  
> Valmir Heckler

-----Mensagem original-----

**De:** Sergey Vtorov [mailto:vsgvsg@hotmail.com]

**Enviada em:** terça-feira, 16 de novembro de 2004 12:48

**Para:** Valmir Heckler

**Assunto:** Re: Java Applet - In Brazil

Hello,

You can use my Interference Java applet for any educational purposes absolutely free.  
Just keep my name or reference to original website.

Thank you,  
Sergey Vtorov

----- Original Message -----

**From:** [Valmir Heckler](#)

**To:** [vsgvsg@hotmail.com](mailto:vsgvsg@hotmail.com)

**Sent:** Tuesday, November 16, 2004 9:12 AM

**Subject:** Java Applet - In Brazil

Hi,

I'm a teacher of high school teaching in Brazil and I am accomplishing a research work and elaborating an interactive didactic material in a Mastery proposal in physics teaching, the material is to be used in classroom, and it will be distributed for the students in a free way, therefore without commercial ends. As your Java applets are very important and good in the optics area, I would like to use some of Java applets- <http://vsg.quasihome.com/interf.htm> (Young's Double Slit Interference), altering nothing in the same ones, respecting all the copyrights. The material will be available in CD-ROM and on the internet but only for students (without commercial ends) with the due references to the authors and mentioning to URL and copyright. It would like to receive authorization to make use of some simulators in the optics part of my proposal. After the approval of the material for the Examining Banking of Mastery Course, I will send you a copy of the dissertation and material.

I wait a return.

I hug,

**Valmir Heckler**

-----Mensagem original-----

**De:** Fu-Kwun Hwang [mailto:hwang@phy.ntnu.edu.tw]

**Enviada em:** sexta-feira, 12 de novembro de 2004 05:10

**Para:** Valmir Heckler

**Assunto:** Re: Java Applet- in BRAZIL

You are welcomed to do that for non-profile educational purpose.

If you are a registered user at <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/> forum. You will be able to get files related to the java applets you want (Look for the button at the end of the first message)

Fu-Kwun

Valmir Heckler wrote:

Hi,

I'm a teacher of high school teaching in Brazil and I am accomplishing a research work and elaborating an interactive didactic material in a Mastery proposal in physics teaching, the material is to be used in classroom, and it will be distributed for the students in a free way, therefore without commercial ends. As your Java applets are very important and good in the optics area, I would like to use some of Java applets written by you and translated by CEPA (BRAZIL), making download in the page <http://www.cepa.if.usp.br/fkw/>, altering nothing in the same ones, respecting all the copyrights. The material will be available in CD-ROM and on the internet but only for students (without commercial ends) with the due references to the authors and mentioning to URL and copyright. It would like to receive authorization to make use of some simulators in the optics part of my proposal. After the approval of the material for the Examining Banking of Mastery Course, I will send you a copy of the dissertation and material.

I wait a return.

I hug,

**Valmir Heckler**



-----Mensagem original-----

De: Phillip Dukes [mailto:pdukes@UTB.edu]  
Enviada em: sexta-feira, 12 de novembro de 2004 19:47  
Para: Valmir Heckler  
Assunto: Re: java applet - in Brazil

Valmir,

Thank you for your kind words. You are granted authorization to use any of the java applets posted at <http://www.phys.utb.edu/~pdukes/PhysApplets/appmenu.htm> for educational purposes. If you require copies with source code, please return a list of what you require. Also, if you have specific needs for a java applet in physics education that you have not found, I am always open for suggestions and new idea for new applets.

Thanks again;  
Phillip Dukes

At 11:18 AM 11/12/2004, you wrote:

>  
>Hi,  
>I'm a teacher of high school teaching in Brazil and I am accomplishing a  
>research work and elaborating an interactive didactic material in  
>a Mastery proposal in physics teaching, the material is to be used in  
>classroom, and it will be distributed for the students in a free way,  
>therefore without commercial ends. As your Java applets are very  
>important and good in the physics area, I would like to use some of Java  
>applets, making donwload in the page  
><<http://www.control.co.kr/java1/colors/TabbedcolorBox.html>><http://www.control.co.kr/java1/colors/TabbedcolorBox.html>  
>- altering nothing in the same ones, respecting all the copyrights. The  
>material will be available in CD-ROM and on the internet but only for  
>students (without commercial ends) with the due references to the authors  
>and mentioning to URL and copyright. It would like to receive  
>authorization to make use of some simulators in the physics part of my  
>proposal. After the approval of the material for the Examining Banking  
>of Mastery Course, I will send you a copy of the dissertation and  
material.  
>  
>I wait a return.  
>  
>I hug,  
>Valmir Heckler  
>

\*\*\*\*\*  
Phillip Dukes, Asst. Professor  
The University of Texas at Brownsville  
pdukes@utb.edu  
Phone: (956) 574-6659 FAX: (956) 574-6726  
<http://www.phys.utb.edu/~pdukes/PhysApplets/appmenu.htm>  
\*\*\*\*\*

-----Mensagem original-----

De: Phillip Dukes [mailto:pdukes@UTB.edu]  
Enviada em: terça-feira, 16 de novembro de 2004 16:41  
Para: Valmir Heckler  
Assunto: Re: RES: java applet - in Brazil

Valmir,

Attached is a zipped copy of the Photoelectric effect applet with source code. You are free to modify it as you see fit. You may need to change the file extension from Photoelectric.rar -> Photoelectric.zip to use your unzip program.

Thanks,

Phillip

At 03:17 AM 11/16/2004, you wrote:

>Hi,  
>Require copies with source code.... It would like to receive  
>authorization to make use of some simulators in the physics part of my  
>proposal.... "Photoelectric Effect" -  
><http://www.phys.utb.edu/~pdukes/PhysApplets/Photoelectric/Photoelectric.html>  
>html  
>I wait a return.  
>I hug,  
>Valmir Heckler  
>A felicidade é um fruto que se colhe da felicidade que se semeia.  
>  
>

>-----Mensagem original-----

>De: Phillip Dukes [mailto:pdukes@UTB.edu]  
>Enviada em: sexta-feira, 12 de novembro de 2004 19:47  
>Para: Valmir Heckler  
>Assunto: Re: java applet - in Brazil  
>

>Valmir,

>

>Thank you for your kind words. You are granted authorization to use any  
>of

>the java applets posted at

><http://www.phys.utb.edu/~pdukes/PhysApplets/appmenu.htm> for educational  
>purposes. If you require copies with source code, please return a list  
>of

>what you require. Also, if you have specific needs for a java applet in  
>physics education that you have not found, I am always open for  
>suggestions

>and new idea for new applets.

>

>

>Thanks again;

>Phillip Dukes

-----Mensagem original-----

De: Phillip Dukes [mailto:pdukes@UTB.edu]  
Enviada em: terça-feira, 16 de novembro de 2004 20:16  
Para: Valmir Heckler  
Assunto: Re: RES: RES: java applet - in Brazil

The copyright is released to the public domain. You may feel free to make changes or modifications as you need.

Phillip Dukes

At 01:02 PM 11/16/2004, you wrote:

>Thanks; where I can find about the copyright?

>Abraço,

>

>Valmir Heckler

>A felicidade é um fruto que se colhe da felicidade que se semeia.

>

>

>-----Mensagem original-----

>De: Phillip Dukes [mailto:pdukes@UTB.edu]  
>Enviada em: terça-feira, 16 de novembro de 2004 16:41  
>Para: Valmir Heckler  
>Assunto: Re: RES: java applet - in Brazil

>

>Valmir,

>

>Attached is a zipped copy of the Photoelectric effect applet with source

>

>code. You are free to modify it as you see fit.

>You may need to change the file extension from Photoelectric.rar ->

>Photoelectric.zip

>to use your unzip program.

>

>Thanks,

>

>Phillip

>

>

>At 03:17 AM 11/16/2004, you wrote:

> >Hi,

> >Require copies with source code.... It would like to receive

> >authorization to make use of some simulators in the physics part of my

> >proposal.... "Photoelectric Effect" -

> ><http://www.phys.utb.edu/~pdukes/PhysApplets/Photoelectric/Photoelectric>

> .

> >html

> >I wait a return.

> >I hug,

> >Valmir Heckler

**Simulação 9.3.1 - Simulando o fenômeno de Interferência com uma fenda - desenvolvido por Sergey Kiselev e Tânia Yanovsky – Kiselev. Disponível no endereço: [http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro\\_physics/kisalev/](http://www.physics.uoguelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/)**

JavaPhysMath Applets

Beta Release 1.0

Authors:

Sergey Kiselev

Tanya Yanovsky-Kiselev

e-mail: [sergey@lightlink.com](mailto:sergey@lightlink.com)

The JavaPhysMath Applets package is Free for non-commercial purposes. That means if you don't try and sell it, you can use and distribute it in your organization, business or classroom. You may copy and distribute these Applets, as long as they are only distributed in the complete package and you do not remove this copyright notice. You may not distribute modified versions of the Applets in this package. The JavaPhysMath Applets may not be distributed as a component of any commercial product without a prior license agreement with the Authors.

License to Distribute. Licensee is granted a royalty-free right to reproduce and distribute the Software provided that Licensee: (1) distributes the Software complete and unmodified; (2) agrees to use the JavaPhysMath Applets for NON-COMERCIAL purposes only (3) does not remove or alter any proprietary legends or notices contained in the Software; and (4) agrees to indemnify, hold harmless, and defend Authors and its licensors from and against any claims or lawsuits, including attorneys' fees, that arise or result from the use or distribution of the JavaPhysMath Applets.

Disclaimer. Authors do not guarantee the accuracy of any information presented in the JavaPhysMath Applets, which are provided on an "as is" basis. In addition, not every description contains complete information in every category. Authors make no representation about the suitability of this software for any purpose. It is provided "as is" without express for any purpose and without express or implied warranty of any kind. The entire risk as to the quality and performance of the software is with you. Should the software prove defective, you assume the cost of all necessary servicing, repair, or correction.

Copyright(c), Sergey Kiselev and Tanya Yanovsky-Kiselev, 1997

## Physlet® Conditions of Use

**Physlets®**, i.e., the Java applets themselves, are a registered trademark of Wolfgang Christian.

**Physlet® Problems**, i.e., the text and associated script, are copyrighted by Prentice Hall, the problem author, or are in the public domain. Please see the credits at the bottom of each HTML page.


Physlet Problems are available on Prentice Hall Companion Websites. These sites currently incorporate Physlet Problems for [Physics: Principles with Applications](#) (5 th ed.) and [Physics for Scientists and Engineer](#), both by Douglas Giancoli and College Physics by Jerry Wilson and Anthony Buffa. We are currently developing additional Physlet Problems for additional texts including *Physics* (preliminary edition) by Eric Mazur.

### ***Noncommercial Use***

***Except for the condition noted below***, Physlets may be used for non-profit, educational purposes without requesting permission of Davidson College.

### **Conditions for Use**

Physlets may be used for non-profit, educational purposes without requesting permission of Davidson College under the following conditions:

1. That the text and script of Physlets Problems, that is, problems that make use of Physlets to provide animation or other types of Physics content, be placed in the public domain.
2. That Davidson College should be credited as the source of the Physlet on at least one HTML page of the instructional unit where these applets are being used. (An instructional unit would be a course or a collection of problems with a unifying theme.) The following logo or simply the name "Davidson College" with a [link](#) to the  Davidson College Physlet Archive serves this purpose.
3. Credit does **NOT** have to be given on every problem or HTML page that contains a Physlet problem. We encourage authors to make the integration of Physlets into their curriculum material as seamless as possible.
4. Publications which result obtained from using Physlets will reference this site.

Please share your work. Authors who have written Physlet problems are encouraged to send us short email with a link to their problems.