



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SÃO PAULO – IFSP**

FERNANDO GRILLO ARAÚJO

**A FÍSICA CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA
UTILIZANDO O CONCEITO DE REFRAÇÃO NEGATIVA**

FERNANDO GRILLO ARAÚJO

**A FÍSICA CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: UMA
PROPOSTA UTILIZANDO REFRAÇÃO NEGATIVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de São Paulo – IFSP para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Isaac Killner

SÃO PAULO, 2016

A686f Araújo, Fernando Grillo.
A física contemporânea no ensino médio: uma proposta
utilizando o conceito de refração negativa / Fernando Grillo Araújo.
São Paulo: [s.n.], 2016.
194f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Isaac Killner.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e
Matemática) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de São Paulo, IFSP, 2016.

1. Física moderna e contemporânea 2. Refração negativa 3.
Aprendizagem de conceitos 4. Sequência didática I.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.
II. Título

CDU 370.0

FERNANDO GRILLO ARAÚJO

A FÍSICA CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA
UTILIZANDO O CONCEITO DE REFRAÇÃO NEGATIVA

Dissertação apresentada e aprovada em 29 de setembro de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

A banca examinadora foi composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Gustavo Isaac Killner
IFSP – Câmpus São Paulo
Orientador e Presidente da Banca

Prof. Dra. Rebeca Vilas Boas Cardoso de Oliveira
IFSP – Câmpus São Paulo
Membro da Banca

Prof. Dra. Ligia Valente de Sá Garcia
Instituto Federal do Rio de Janeiro – IFRJ
Membro da Banca

Dedico a minha companheira Tassiana, ao meu orientador Gustavo e a todos que me possibilitaram chegar até aqui. Agradeço pelo aprendizado que carregarei para sempre, não apenas no meu trabalho, mas em todos os momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha companheira Tassiana por me incentivar na carreira acadêmica e acompanhar de forma efetiva todo o meu trabalho, contribuindo com críticas, sugestões, orientações e exigindo sempre o meu melhor.

Agradeço ao prof. Dr. Gustavo pelas orientações nesta pesquisa e por tudo que tem me ensinado, desde a graduação. Proporcionando-me, a cada dia, a vontade de ser um aluno melhor e um professor melhor.

Agradeço a professora Roxana em se dispor da sua competência e sua vasta experiência, como professora de português, em revisar todo o trabalho final, contribuindo para uma melhor qualidade da dissertação.

Agradeço aos colegas da graduação e da pós-graduação por trocarem experiências comigo, contribuindo também para um melhor desempenho profissional, além das ótimas lembranças nos dias difíceis de aula, em que com perseverança e otimismo conseguimos vencer os diversos obstáculos.

Agradeço aos professores de física do Instituto Federal de São Paulo, com os quais pude aprender a física que leciono hoje e por me proporcionarem condições para aprender além daquilo que me foi ensinado na graduação.

Agradeço aos demais professores e funcionários do IFSP, com os quais também pude aprender grandes lições das quais tenho carregado e posto em prática quando necessário.

Agradeço a professora Jesuína, do Instituto de Física da USP, com quem pude trabalhar em um grupo de pesquisa e trazer comigo boas reflexões e referenciais para a minha dissertação.

Agradeço ao professor e amigo Osvaldo de Souza, por contribuir nas reflexões sobre o meu trabalho, e que a cada ano me faz refletir sobre minha prática buscando uma didática melhor para o ensino de física.

Agradeço a minha família por sempre acreditarem em mim, e com paciência permitirem a minha dura jornada, possibilitando que eu chegasse até onde estou.

Agradeço ao meu grande amigo Anderson Ricardo de Souza pelo presente que recebi em 2011, onde pude pesquisar e escrever esta dissertação. Além de sempre me incentivar a estudar e ter me acompanhado nos diversos momentos, bons e ruins, antes da graduação.

“Conhecer, na dimensão humana, que aqui nos interessa, qualquer que seja o nível em que se dê, não é o ato através do qual um sujeito, transformado em objeto, recebe, dócil e passivamente, os conteúdos que outro lhe dá ou impõe.

O conhecimento, pelo contrário, exige uma presença curiosa do sujeito em face do mundo. Requer sua ação transformadora sobre a realidade. Demanda uma busca constante. Implica invenção e reinvenção”

Paulo Freire

RESUMO

Atualmente vivemos na chamada revolução tecnológica – nanotecnologia, cirurgias a laser, microprocessadores entre outros exemplos – que só foi possível graças aos avanços científicos no campo da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Através dessa física podemos compreender toda essa revolução tecnológica, pois os fenômenos envolvendo o funcionamento dos telefones celulares, sensores de presença e calor, microprocessadores etc. não podem ser explicados pela Física Clássica. Sob este contexto observa-se a importância de ensinar FMC no ensino médio, pois embora ela já esteja presente nos currículos escolares oficiais do ensino médio, como nos PCNs (BRASIL, 2002) e na PROPOSTA CURRICULAR DO ESTADO DE SÃO PAULO (SEE, 2008), existe ainda uma dificuldade grande em inseri-la na sala de aula. Baseado nas literaturas publicadas, na revisão bibliográfica sobre os anais publicados nos SNEFs (2005 a 2015) e na revisão publicada nos trabalhos de Valente (2009 e 2015), apresentadas nesta dissertação, propomos fazer uma investigação quanto a influência da Física Contemporânea no aprendizado do aluno, trazendo conceitos da Física Contemporânea como elemento inovador para o ensino de Física Clássica. Para isso, avaliamos em duas turmas a aprendizagem quanto ao conceito de refração. Em uma delas foi abordado tópicos de Física Contemporânea – no caso refração negativa – e na outra não. Os dados foram coletados a partir de atividades avaliativas dos alunos, aplicados nas duas turmas, e um questionário aplicado somente na turma em que o conceito de refração negativa foi abordado. Os resultados mostram que a Física Contemporânea, embora não influencie significativamente no aprendizado do aluno, pode despertar grande interesse por essa nova ciência. Por fim, apresentamos uma sequência didática para o ensino de óptica, com a inserção de conceitos da Física Contemporânea.

Palavras-chave: Física Moderna e Contemporânea; Refração Negativa; Aprendizagem de Conceitos; Sequência Didática.

ABSTRACT

At present we live in a so-called technological revolution – nanotechnology, laser surgery, microprocessors and other examples – that was only possible as a consequence of the development of Modern and Contemporary Physics (MCP). Than for understanding how those modern technologies work, we need to know MCP basics. Although the MCP is already present in the official school curricula for high school, there is still a gap to introduce it in the classroom. Based on literature, in the published annals of SNEFs (2005 a 2015) review and the in Valente's jobs (2009 e 2015), we conducted a research about the influence of Contemporary Physics in student learning. Our goal is to bring concepts of contemporary physics as innovative element to the classical physics teaching. To perform this research, we evaluated the grounding on refraction concepts in two different classes. In of them topics of Contemporary Physics – the negative refraction case – was taught, and in the other not. The results shows that the use of Contemporary Physics can influence students learning and tease great interest in students for this new Science.

KEY WORDS: contemporary physics, negative refraction, didactic sequence, literature review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 5.1 – Por dentro da caixa óptica 1.....	54
Figura 5.2 – Esquema para montagem da caixa óptica 1.....	55
Figura 5.3 – Por dentro da caixa óptica 2.....	56
Figura 5.4 – Esquema para montagem da caixa óptica 2.....	57
Figura 9.1 – (a) Refração convencional. (b) Refração negativa.....	112
Figura 9.2 – Mod. do comportamento da luz no fen. de refração negativa.....	113
Figura 9.3 – Manto da invisibilidade.....	114
Figura 9.4 – Fenômeno do crepúsculo.....	116
Figura 9.5 – Fenômeno de refração (2)	118
Figura 9.6 – Mod. do comportamento da luz no fen. de refração.....	118
Figura 9.7 – (a) Refração convencional (2). (b) Refração negativa (2)	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1 – Rendimento das duas turmas.....	84
Tabela 7.2 – Valor absoluto de resposta da questão 1.....	87
Tabela 7.3 – Valor absoluto de resposta da questão 2.....	87
Tabela 7.4 – Valor absoluto de resposta da questão 3.....	88
Tabela 7.5 – Valor absoluto de resposta da questão 4.....	88
Tabela 7.6 – Valor absoluto de resposta da questão 5.....	89
Tabela 9.1 – Índice de refração de algumas substâncias.....	117

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Número absoluto de artigos relacionados ao conceito de luz publicados nos SNEFs realizados entre 2005 e 2015.....	39
Gráfico 3.2: Número absoluto de artigos relacionados ao conceito de luz separados entre FM e FC.....	40
Gráfico 3.3: Número absoluto de artigos relacionados ao conceito de luz correspondentes à Física Clássica.....	41
Gráfico 3.4: Número absoluto de artigos relacionados ao conceito de luz correspondentes à FMC.....	42
Gráfico 3.5: Estratégias de ensino apresentadas nos artigos analisados.....	43
Gráfico 3.6: Avaliações das sequências de ensino apresentadas nos artigos analisados.....	44
Gráfico 7.1: Região de aceitação das hipóteses do teste.....	86
Gráfico 7.2: Número absoluto de respostas caracterizadas em cada dimensão.....	101
Gráfico 7.3: Número absoluto de respostas caracterizadas na dimensão aprendizagem.....	102
Gráfico 7.4: Número absoluto de respostas caracterizadas na dimensão interesse.....	103
Gráfico 7.5: Número absoluto de respostas caracterizadas na dimensão pragmática/utilitária	104

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 7.1: Hipóteses nula e alternativa.....	85
Equação 7.2: Cálculo da média para a turma A.....	85
Equação 7.3: Cálculo da média para a turma B.....	85
Equação 7.4: Cálculo da variância.....	85
Equação 7.5: Cálculo do t_{calc}	85
Equação 7.6: Cálculo do df	86
Equação 9.1: Índice de refração.....	117
Equação 9.2: Lei de Snell-Descartes.....	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFSP – Instituto Federal de São Paulo

FMC – Física Moderna e Contemporânea

ETEC – Escola Técnica

UMC – Universidade Mogi das Cruzes

CEFET – Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

LCD – Liquid-Crystal Display

SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física

SARESP – Sistema de Avaliação e Rendimento Escolar do Estado de São Paulo

DDT – Dicloro-Difenil-Tricloroetano

ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio

UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências

IAT – Índice de Desenvolvimento Tecnológico

ONU – Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

1 PROEMIO	17
1.2 Apresentação do trabalho	23
2 JUSTIFICATIVA	25
2.1 Objetivo	33
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	36
3.1 Procedimento	38
3.2 Análise da revisão bibliográfica	39
4 METODOLOGIA DE PESQUISA	47
4.1 Local da Pesquisa	51
5 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO	53
5.1 Iniciando o conceito de refração	60
5.2 Discutindo o conceito de refração negativa	62
6 REFERENCIAL TEÓRICO	66
6.1 Construção do conhecimento científico	68
6.2 Construção o conhecimento escolar	70
6.3 A importância da alfabetização científica	72
6.4 Considerações sobre FMC na escola	75
6.5 Construção o conhecimento pelos estudantes	76
6.6 Vygotsky	78
6.6.1 Mediação com o mundo	78
6.6.2 Formação do conceito	80
6.7 Paulo Freire – Pedagogia da Autonomia	81
7 RESULTADO	83
7.1 Análise Quantitativa	83
7.1.2 Resultado do questionário aplicado – Turma A	86
8 CONCLUSÃO	105
9 PRODUTO FINAL	110
9.1 Introdução	110
9.2 Refração Negativa	112
9.3 Sequência didática	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

APÊNDICE A – Conceito de refração.....	125
APÊNDICE B – Revisão Snell.....	133
APÊNDICE C – Atividade aplicada na terceira aula.....	142
APÊNDICE D – Exercícios de fixação aplicados na quinta aula	144
APÊNDICE E – Exercícios aplicados na sexta aula.....	145
APÊNDICE F – Exercícios sobre reflexão da luz aplicados na sétima aula	146
APÊNDICE G – Atividade de Campo aplicada na oitava aula.....	147
APÊNDICE H – Exercícios sobre refração da luz aplicados em aula.....	148
APÊNDICE I – Exercícios de revisão sobre refração da luz aplicados em aula	149
APÊNDICE J – Exemplo da refração negativa demonstrado na aula	150
APÊNDICE K – Exercícios sobre refração negativa aplicados em aula	151
APÊNDICE L – Atividade avaliativa	152
APÊNDICE M – Desempenho da turma B na atividade aplicada.....	153
APÊNDICE N – Desempenho da turma A na atividade aplicada.	167
ANEXO 1 – Folha de rosto para pesquisa envolvendo seres humanos	189
ANEXO 2 – Autorização da escola para realização da pesquisa	190
ANEXO 3 – Termo de consentimento de livre esclarecimento.....	191
ANEXO 4 – COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO	192
ANEXO 5 – COMPROVANTE DE ACEITE DO PROJETO	193
ANEXO 6 – Submissão de artigo para o XENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.....	194
ANEXO 7 – Aceitação do artigo	195

1 PROEMIO

Em todas as disciplinas da escola sempre apresentei um rendimento mediano, com exceção da matemática. Nunca me destaquei nessa ou naquela disciplina, apenas atingia o rendimento suficiente para ser promovido ao próximo ano. Logo, posso afirmar que nunca tive muita afinidade com os estudos, embora sempre tivesse consciência de sua importância para adquirir conhecimento e formação.

Após ter concluído o ensino fundamental na escola pública municipal, fui matriculado numa escola de rede pública estadual, período noturno, pois nessa época, assim como meus irmãos, tinha que conciliar trabalho e estudo para ajudar no orçamento da família. A escola, por sua vez era conhecida por ser uma das maiores de São Paulo em espaço físico, porém também era uma das mais fracas no ensino. Eu estava um tanto apreensivo, pois nunca tinha estudado à noite e a escola ficava numa região bastante violenta. Mesmo assim, mantive meu rendimento mediano também durante o ensino médio.

Quando estava no segundo ano do ensino médio, comecei a ter certo desespero com relação ao trabalho, pois sabendo que não tinha como financiar uma faculdade particular e nem preparo suficiente para pleitear uma faculdade pública, não sabia o que iria fazer após a educação básica, principalmente pelo fato de que nesse ano eu ainda não tinha emprego, apenas estava fazendo um curso de pré-qualificação profissional – para ser office-boy. Foi a partir desse curso que consegui o meu primeiro emprego, como office-boy, um ofício que hoje, devido à revolução tecnológica, está quase extinto do mercado de trabalho.

Quando se trata de trabalho, além da dedicação, também é importante que tenhamos um pouquinho de sorte, pois nem sempre um funcionário é valorizado só por sua qualificação, tampouco fica desempregado por não ser qualificado o suficiente, mas por questões que, muitas vezes, não dependem do seu desempenho profissional. Em alguns casos uma simples reestruturação na empresa ou uma crise financeira são requisitos suficientes para um profissional, mesmo que com ótimas qualificações, seja desligado de seu trabalho. Infelizmente nos diversos empregos que conquistei, o fator sorte nunca foi um grande aliado e, por consequência, não conseguia me estabilizar ou construir uma carreira nas empresas que me

contratavam.

Em dez anos de trabalho, atuei em diversas empresas, nas mais variadas funções que competem a um auxiliar administrativo, até que em 2005 ingressei no curso de eletrotécnica na ETEC Prof. José Rocha Mendes, pois estava decidido a mudar de área – da administrativa para a industrial – e, com bastante otimismo, me dediquei com afinco nesse curso técnico. Após seis meses de curso, em 2006, fui admitido como estagiário em eletrotécnica, na Empresa Pilkington Brasil Ltda., especializada no fornecimento de vidros automotivos e linha branca. Vi nessa empresa grandes possibilidades, principalmente por ser uma empresa de grande porte e uma das pioneiras em seu ramo de trabalho, porém o trabalho de um estagiário, infelizmente, é mais voltado para burocracia do que para atividades que envolviam a sua área de estudo. Mesmo assim, pude aprender bastante sobre as políticas de conduta, formas de convivência, hierarquia, responsabilidade e segurança no trabalho e diversas questões no que se refere a política de trabalho dentro de uma fábrica.

Decorrido o tempo como estagiário, e tendo concluído o curso de eletrotécnica, fui admitido como operador de produção na empresa. Apesar de ter ciência desde o início quanto às possibilidades de atuar como profissional efetivo na minha área, nunca deixei de ter esperanças em progredir na empresa, mesmo exercendo atividades totalmente fora da minha nova formação. Foi quando, num dia comum, o supervisor me ofereceu uma proposta. Fiquei bastante entusiasmado, pois vi naquele momento a possibilidade de iniciar os primeiros passos para um cargo que, embora não fosse uma profissão de fato, exigia grandes responsabilidades e era muito importante dentro da empresa. Contudo, infelizmente, no meu caminho ainda havia muitas pedras a serem removidas. Houve uma mudança no organograma da empresa, o supervisor que havia me feito a proposta foi transferido para outra linha de produção, dentro da empresa, ficando o meu setor sob a responsabilidade de um novo supervisor, o qual tinha anseio em apresentar bons resultados, e, para isso, montou uma equipe de acordo com seus moldes, moldes esses nos quais eu não me encaixei, e acabei sendo transferido também para um outro setor na empresa.

Comecei a me sentir frustrado pela forma como as coisas estavam caminhando, pois trabalhava num setor no qual as expectativas de progresso eram

mínimas, e minha formação de eletrotécnico nada contribuía para esta nova função. Foi a partir daí que vi a necessidade de retomar os estudos mais uma vez. Porém, quando resumimos nossa vida ao trabalho, com poucas opções de lazer, costumamos a fazer escolhas, principalmente se essas escolhas irão nos privar de algo que sentimos grande prazer em realizar. Sobre este cenário, fiquei convencido de que trabalho e estudo são atividades que não foram criadas para serem realizadas em conjunto, a menos que o seu trabalho seja estudar ou que o seu estudo esteja diretamente relacionado com o seu trabalho, o que no meu caso, infelizmente não se encaixava em nenhuma das duas alternativas e, sendo assim, prorroguei ao máximo o meu retorno aos estudos.

Apesar da pouca disposição para tal retorno sempre tive o desejo de cursar uma faculdade e obter um título de graduação. Em 1999 cheguei a cursar Tecnologia em Produção Industrial na UMC – Universidade Mogi das Cruzes, mas fui obrigado a interromper o curso devido a impossibilidade de quitar as mensalidades em atraso. Por fim, devido ao fato de sempre ter estudado na rede pública, e considerando a precariedade da rede pública de ensino básico, não tinha preparo para pleitear uma faculdade pública.

Em 2007, quando ainda trabalhava na Pilkington, me inscrevi no processo seletivo do Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – CEFET – SP, no curso de Tecnologia em Sistemas Elétricos. Tive uma colocação baixa, pois quando realizei vestibular me deparei com problemas e questões que não haviam sido discutidas no meu ensino médio. Fiquei impressionado com o grau de defasagem que possuía com relação ao que foi exigido no vestibular.

Precisava de um estímulo forte para retomar os estudos e, não demorou muito, esse estímulo apareceu. Em janeiro de 2009, por consequência da crise econômica do país, eu e mais de 90 funcionários fomos desligados da empresa. Senti-me arrasado, pois estava desempregado e embora tivesse uma formação técnica não tinha experiência de trabalho para pleitear uma vaga. Também não podia aceitar um emprego cujo salário não cobrisse minhas despesas (a maior delas era o aluguel de casa). Foi quando, no dia em que fui dispensado da empresa, não querendo ir para casa dar a péssima notícia à minha mãe, que morava comigo e dependia do meu ordenado, decidi ir atrás de um cursinho que tinha ouvido falar, no centro da cidade. O cursinho tinha um sistema totalmente voltado para os

vestibulares da Fatec e CEFET – SP. Naquele mesmo dia fiz a matrícula deixando quitado 50% do curso, pois estava decidido que precisava colocar atribuições significativas em meu currículo, até porque eu já estava com 29 anos e não possuía nenhuma profissão consolidada em minha carreira de trabalho.

Com a indenização que recebi da empresa, fiz as contas de quanto gastaria nos próximos seis meses, incluindo todo e qualquer tipo de gasto e observei que era possível, para os próximos seis meses, ficar sem trabalhar me dedicando integralmente à preparação para o vestibular. A partir daí, resumi minha vida nas apostilas do cursinho e no jornal de domingo, pois a leitura de jornal me ajudava a elaborar dissertações, facilitando discorrer sobre diversos temas da atualidade. Além da determinação nos estudos, também havia uma apreensão muito grande, pois caso meu objetivo não fosse alcançado depois de seis meses, não iria poder dispor de mais seis meses só para os estudos. Teria que conciliar o estudo com algum trabalho, o que tornaria meu objetivo mais difícil de ser alcançado.

A escolha do curso, por sua vez, deu-se durante preparação para o vestibular. Por ter passado por diversos tipos de trabalho e, principalmente, pela experiência que vivi na última empresa aprendi que em determinados locais de trabalho, o funcionário, o profissional qualificado, pode ser apenas um número que enquanto estiver dando lucro para empresa será útil, porém quando já não estiver proporcionando o lucro esperado, ou por razão de corte de gastos, não importa o que este ou aquele funcionário tenha feito, ou quanto ele faz pela empresa, poderá ser desligado, independente do potencial ou da carreira construída lá dentro. Sob essas reflexões, entrei no cursinho sem saber ainda que profissão escolher, porém tinha plena certeza do que eu não queria. Não queria ser apenas um número, exercer uma função em que não me sentisse valorizado ou que não me proporcionasse o prazer em realizá-la.

Com a dedicação plena nos estudos, comecei a adquirir certo prazer especial pela área de exatas. Achava prazeroso conseguir resolver exercícios complexos, que exigiam raciocínio lógico e matemático. Também vi no trabalho dos professores e plantonistas do cursinho algo de extrema importância, pois, por diversas vezes, encontrei-me com extrema necessidade de auxílio de um professor, que pudesse me orientar naquele momento de dificuldade, em que, por mais que eu pensasse e lesse por várias vezes o exercício ou o conceito mencionado, não

conseguia ter uma compreensão plena do assunto. Essa importância que percebi sobre o trabalho dos professores despertou em mim o interesse no trabalho docente. Pude observar nessa profissão que, mesmo se eu for apenas um número em uma escola, para os alunos eu serei muito mais que isso e foi aí que decidi que queria ser professor, independente da valorização profissional e das precárias condições de trabalho que são oferecidas em determinadas escolas.

Felizmente, mesmo não tendo um ótimo desempenho nas questões objetivas, mas com uma boa redação, consegui ficar entre os aprovados na primeira chamada do curso de licenciatura em física, no Instituto Federal de São Paulo. Começava naquele momento minha jornada rumo aos estudos acadêmicos e eu sabia que por mais difícil que fosse meu trajeto, tinha absoluta certeza que só dependia de mim para concluí-lo.

Ao longo dos quatro anos de faculdade, tive a sorte de conhecer pessoas experientes que já atuavam em sala de aula, além de poder aprender com um corpo docente que tinha grande preocupação na formação dos futuros professores. Tive diversas orientações ao longo do curso, quanto ao trabalho docente e, principalmente, sobre a baixa qualidade da educação básica na rede pública. Passados três semestres de curso já estava trabalhando como professor de física, no ensino médio da rede pública, onde pude observar e vivenciar a realidade da educação pública na íntegra. Vi que tão difícil quanto entender a física era ensiná-la, principalmente para uma turma de quarenta alunos, os quais não tinham grande interesse em aprender. Felizmente, as oficinas de projeto que tive durante a graduação proporcionaram-me diversas formas de pensar sobre um determinado conteúdo ou tema de física na sala de aula, gerando, assim, um repertório de grande contribuição para o meu trabalho.

Além do aprendizado na graduação, também tive a oportunidade de conhecer, fora da faculdade, professores altamente revolucionários, com uma metodologia totalmente voltada para a chamada educação democrática, algo que, embora tenha sido discutido na minha graduação, só pude aprender com mais ênfase sobre como esse sistema de ensino funciona por meio de dois professores que conheci e que trabalham em uma escola de educação democrática. Pude não só aprender, como também rever toda minha forma de trabalho, proporcionando assim, aulas mais atrativas, respeitando os alunos e despertando maior interesse no

aprendizado em física.

No meu trabalho em sala de aula sempre tive preferência pela interação professor-aluno buscando, dentro das minhas condições, uma aula que fosse menos complexa e mais atrativa. Entre as diversas estratégias, experimentos demonstrativos sempre geraram grande entusiasmo, pois os alunos ficavam eufóricos e curiosos com determinados fenômenos demonstrados em aula, achando que não podia existir aquilo de forma comum na natureza, tampouco ter uma explicação simples através da física.

Entre os diversos assuntos de física que são discutidos no ensino médio, sempre se deu mais importância para aqueles ligados à física clássica, pois analisando os livros didáticos, os temas da atualidade, pertinentes à física moderna e contemporânea, são apresentados somente nos últimos capítulos, de forma bem condensada. Tal fato pode ser justificado pela complexidade em ensinar esta física e, também, porque muitos professores priorizaram a preparação dos alunos para os vestibulares. Mesmo assim, decidi realizar um projeto com as cinco turmas de terceiro ano que lecionava, no qual discuti física quântica básica, com enfoque no lixo eletrônico. O projeto consistia em uma apresentação sobre o lixo eletrônico, seus impactos ambientais e os conceitos físicos empregados no funcionamento dos mais diversos aparelhos eletrônicos – em especial os celulares –, pois estando a sociedade vivendo na era da tecnologia, é de grande importância trazer essa questão da atualidade para a sala de aula, bem como a física envolvida no assunto – nesse caso, a física contemporânea. A partir desse projeto, sempre busquei, em cada ano letivo, apresentar e discutir conceitos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio – física quântica, teoria da relatividade, física nuclear, entre outras –, uma vez que havia constatado a deficiência dessa física na educação básica.

Concluída a graduação, comecei a me preocupar em como dar continuidade aos estudos, pois já tinha ciência, desde o início, quando entrei na faculdade, que a graduação não seria a conclusão dos estudos, apenas a conclusão de uma etapa, e mesmo sabendo que o professor, no exercício do seu trabalho, necessita estudar – preparação de aula, correção de atividade, elaboração de atividade e etc. – era importante prosseguir na carreira acadêmica, não só pela qualificação profissional, mas também para um melhor desempenho na execução do meu trabalho, uma vez que o professor se depara com diversos problemas na

educação, tanto da rede pública quanto da rede privada, e deve dispor de um repertório amplo para lidar com tais problemas.

Mesmo com o anseio em iniciar uma pós-graduação, não era meu interesse cursar uma pós-graduação *stricto senso*, pois não tinha interesse em ser pesquisador, mas sim em aprimorar meu trabalho em sala de aula. Porém, quando tive o conhecimento da implantação do Programa de Pós-graduação *stricto sensu* na área de mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática, no Instituto Federal de São Paulo – IFSP, vi uma ótima oportunidade, não só de prosseguir na carreira acadêmica, mas de poder aprender mais com os professores, tanto aqueles com quem tive aula na graduação, como também com os professores das diversas áreas que fazem parte do Programa.

O mestrado profissional é um programa que envolve uma discussão sobre o processo de ensino e aprendizagem, na área de ciências e matemática, propiciando um ambiente em que o mestrando pode investigar e refletir sobre suas práticas educativas. Logo, o programa contribui para a produção do conhecimento, em ensino de ciências e matemática, qualificação e formação profissional, para os professores que atuam nos diversos níveis de ensino – educação básica, técnica, tecnológica e ensino superior. Sendo assim, este mestrado profissional tem como público alvo, preferencialmente, professores licenciados, com prática efetiva em sala de aula, permitindo a estes não serem apenas um professor, mas também um pesquisador sobre seu trabalho. Sob essa perspectiva, junto com o objetivo de proporcionar um ensino de melhor qualidade no ensino médio, em especial de física contemporânea, ingressei no programa, obtendo assim, a motivação no meu trabalho de mestrado.

1.2 Apresentação do trabalho

Apresentamos, nesta seção, a trajetória percorrida ao longo da pesquisa, explicando de maneira sucinta a estrutura e os objetivos descritos nesta dissertação.

Tendo em vista a revolução tecnológica atual, e que tal revolução só foi possível graças aos avanços científicos na área da Física Moderna e Contemporânea (FMC), observa-se uma necessidade de inserir essa física na educação básica. Sendo assim, no capítulo 2 – Justificativa – trazemos os diversos documentos que apontam os motivos para a inserção da Física Moderna e

Contemporânea no ensino médio, bem como as razões pelas quais essa física ainda não se encontra consolidada no ensino, e com base nesses documentos apresentar o objetivo de nossa pesquisa.

A fim de averiguar os trabalhos já realizados sobre o tema escolhido, apresentamos no capítulo 3 – Revisão Bibliográfica – três revisões, sendo que as duas primeiras foram apresentadas por Valente (2009 e 2015), a primeira em sua dissertação (2009) e a segunda em sua tese (2015). Já a terceira revisão, corresponde a um trabalho minucioso que realizamos sobre os artigos apresentados no Simpósio Nacional de Ensino de Física, nos períodos de 2005 a 2015.

No capítulo 4 – Metodologia – apresentamos as razões que justificam: a escolha do tema, a forma de desenvolvimento e os procedimentos de análise sobre os dados coletados. Uma vez que também pretendemos, com esse trabalho, estreitar a relação entre o trabalho docente e o acadêmico, ampliado o repertório do professor da educação básica e permitindo ao aluno autonomia sobre suas ações fora do âmbito escolar.

Na sequência, no capítulo – Desenvolvimento Metodológico – descrevemos todo o procedimento, o local da pesquisa, as aulas que foram aplicadas até chegar ao tema da pesquisa e todas as atividades realizadas em cada aula, tanto as teóricas como as práticas.

Já no capítulo 6 – Referencial Teórico – apresentamos os referenciais que fundamentam a nossa pesquisa. Sobre cada um deles, destacamos as ideias principais, fazendo sempre uma relação com a nossa pesquisa.

Os resultados da pesquisa são apresentados no capítulo 6 e, com base nos referenciais de análise, explicamos os procedimentos desenvolvidos sobre os dados coletados, permitindo-nos chegar a uma conclusão.

Após analisar os dados, retomamos, no capítulo 8 – Conclusão – toda trajetória percorrida, chegando assim a uma conclusão quanto à questão e ao objetivo de nossa pesquisa.

Por fim, no capítulo 9 – Produto Final – apresentamos uma sequência didática na qual acreditamos ser aplicável no ensino médio, independente das condições de trabalho do professor, e de fácil compreensão para os alunos.

2 JUSTIFICATIVA

Atualmente vivemos a chamada revolução tecnológica, com o desenvolvimento e aplicação de nanotecnologia, cirurgias a laser e microprocessadores entre outros exemplos, que só foi possível graças aos avanços científicos no campo da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Por meio dessa física podemos compreender essa revolução tecnológica, pois os fenômenos envolvendo o funcionamento dos telefones celulares, sensores de presença e calor, microprocessadores e etc, não podem ser explicados somente pela Física Clássica. Sob este contexto observa-se a importância de ensinar FMC no ensino médio. Ostermann e Moreira (2000, p. 24) apontam diversas justificativas para que a FMC seja aplicada na escola, tais como:

- ✓ Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- ✓ Aproximar os estudantes da física atual;
- ✓ Aproveitar o entusiasmo de professores e alunos por temas atuais que estão ligados às novas tecnologias;
- ✓ Possibilitar ao aluno localizar-se corretamente como ser humano na escala temporal e espacial da natureza;
- ✓ Atrair jovens para a carreira científica, pois serão eles os futuros pesquisadores e professores de física;
- ✓ A Física Moderna e Contemporânea é considerada conceitualmente difícil e abstrata, mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la.

Considerando o advento da era digital, é fundamental estar atualizado, pois informação sempre foi fonte de poder e, principalmente nos dias de hoje, em que pode ser comprada e vendida como mercadoria, tem feito com que líderes governamentais e outras instituições elitistas, manipulem as informações, em busca de vantagens políticas e econômicas (HAWKRIDGE, *apud.* KILLNER, 2002). Por essa razão, sobre as novas tecnologias presentes nos dias de hoje, bem como as futuras tecnologias que vem sendo pesquisadas, é de extrema importância oferecer

aos estudantes um ensino que lhes permita averiguar e analisar as diversas informações – principalmente a respeito dessas novas tecnologias – que lhe são oferecidas, checar a procedência e a veracidade, podendo assim avaliar o quanto uma determinada informação pode impactar na sua vida e, desta forma, refletir sobre as suas ações, transformando-as em conhecimento, e este em saber.

Embora a FMC já esteja presente nos currículos escolares oficiais do ensino médio, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002), conhecidos como PCN, a Proposta Curricular do Estado de São Paulo (SEE, 2008), e no Programa Nacional do Livro Didático – PNLD – (Brasil, 2012), existe ainda uma dificuldade grande em inseri-la na sala de aula. Sales *et al.* (2008) aponta, como possíveis razões para isso, a dificuldade de discussão de um projeto político-pedagógico para uma proposta de ensino de FMC, além do despreparo dos professores para abordarem tal conteúdo em sala de aula.

Tomando como referência meu trabalho de 4 anos, como professor de física e se apoiando no PNLD, pude observar que, em geral, o ensino de física é dividido em cinemática, dinâmica, termologia, óptica geométrica, eletricidade e circuitos simples. Mesmo assim, os conceitos físicos, pertinentes a tais campos de conhecimento, dificilmente são todos trabalhados nos três anos de ensino médio, pois, levando em consideração a carga horária de duas aulas semanais e as turmas com quarenta alunos em média, fica inviável para o professor discutir todo o plano de ensino, e, por esta razão, alguns conceitos acabam sendo descartados, a fim de dar mais ênfase aos conceitos escolhidos, considerados como mais importantes pelo professor.

Com base nos PCN+¹, pode-se compreender que todo o conhecimento de física, construído ao longo da humanidade, é inviável de ser discutido em três anos do ensino médio, sendo necessário fazer escolhas, para que assim os jovens que, mesmo após a sua formação básica, não venham ter nenhum contato com a física – seja no ingresso da formação profissionalizante, técnica ou superior – possam ter tido um conhecimento necessário para compreenderem e participarem do mundo em que vivem.

Essas escolhas, segundo o PCN+, são feitas levando em consideração o projeto político pedagógico da escola:

(...) a realidade educacional e os projetos pedagógicos das escolas, que

¹ Criado em 2002, este documento complementa o documento anterior – PCN – (BRASIL 2000).

expressam os objetivos formativos mais amplos a serem alcançados, é que devem direcionar o trabalho de construção do conhecimento físico a ser empreendido (BRASIL, 2002, p.59).

Caberá sempre ao professor, dentro das condições específicas nas quais desenvolve seu trabalho, em função do perfil de sua escola e do projeto pedagógico em andamento, selecionar, priorizar, redefinir e organizar os objetivos em torno dos quais faz mais sentido trabalhar (*idem*, p. 62).

Porém, além da seleção dos conteúdos a serem ensinados, o PCN+ também discute a preocupação com a abordagem desses conteúdos, chamando-nos a atenção para que a física ensinada não seja apenas uma transmissão de informações para o aluno, mas para que dê condições para que os alunos se apropriem desse conhecimento, e assim possam usá-lo como mais um repertório na sua forma de pensar e agir.

Tomando ainda como base o PCN+, podemos ver que nele são abordados os critérios que devem orientar a ação pedagógica. No que se refere ao ensino de física, o documento ressalta a importância de tomar como referência não “o que ensinar”, mas sim o “para que ensinar”, pois o primeiro critério – “o que ensinar” – gera um risco de apresentar algo abstrato, sem contexto com a realidade do aluno. Já no segundo critério, o PCN+ acredita que o ensino deveria estar preparando o jovem para os problemas de sua realidade – crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, exames médicos, notícias de jornal, entre outros.

Seguindo a perspectiva dos PCN+, citados no parágrafo anterior, e levando em consideração a realidade dos alunos, bem como a revolução tecnológica que vivemos nos dias de hoje, observa-se que a Física Clássica, mesmo tendo importância no ensino, não dá conta de explicar algumas tecnologias, principalmente as futuras tecnologias, o que tornaria fundamental a inserção da Física Contemporânea no ensino médio. Como podemos ler nos PCN+:

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos (BRASIL, 2002, p. 59).

Dessa forma, o ensino de física deve proporcionar ao aluno uma apropriação do conhecimento para uso da física não apenas em seu cotidiano, mas também para ajudar na construção de uma compreensão sobre o mundo no qual

está inserido, e que também lhe permita compreender as novas tecnologias que o permeiam, bem como refletir sobre as futuras tecnologias, que mesmo não estando em seu cotidiano, já fazem parte da realidade atual, podendo assim construir um pensamento crítico e autônomo, capaz de interferir e contribuir na sociedade em que faz parte.

Terrazzan (1992) já discutia a preocupação de trazer para o ensino médio uma física mais atual, próxima da realidade do aluno, o que não significa descartar por completo a Física Clássica, pois como ele mesmo ressalta, através da Física Clássica temos suporte para entendermos o desenvolvimento dos conceitos estudados na Física Moderna, que a sucedeu historicamente. Porém, assim como nos PCN+, o autor também destaca que, entre nossos alunos, poucos ingressarão no ensino superior e, desses, uma parte menor ainda seguirá para a área de ciências e tecnologia, o que faz da física ensinada, no ensino médio, o único contato formal na sua escolarização. Logo, torna-se necessário fazer escolhas quanto aos conteúdos a serem abordados, no campo da Física Clássica, e também no campo da Física Moderna e Contemporânea.

Mediante as razões apresentadas, apoiados na ideia de educação emancipadora, que fundamenta esta pesquisa, acreditamos que a educação básica deve proporcionar conhecimentos para a formação de uma sociedade livre e, para isso, é importante que as pessoas dessa sociedade tenham subsídios para compreender a realidade e poder tomar suas decisões, bem como realizar ações mais conscientes. Terrazzan (1992) também destaca em seu trabalho que a capacidade de intervenção na realidade em que um sujeito está imerso tem relação direta com sua capacidade de compreender esta mesma realidade.

É nessa perspectiva que o professor, na qualidade de educador e divulgador da ciência poderia trabalhar, tanto a Física Contemporânea quanto a Física Clássica, pois embora a Física Clássica tenha a sua importância na educação científica, como dito anteriormente, não dá conta de explicar, sozinha, sobre as principais evoluções do universo contemporâneo e, considerando a grande revolução tecnológica presente na sociedade atual, é de extrema importância, para a formação dos alunos, trazer para sala de aula discussões sobre o impacto dessa tecnologia na sociedade, bem como o princípio de funcionamento dos diversos aparelhos tecnológicos, além das novas e futuras tecnologias.

O professor poderia, através da Física Contemporânea, junto com a

Física Clássica, não apenas ressaltar a importância dela na sociedade, mas também o quanto o ser humano evoluiu, e vem evoluindo, mostrando o quanto ele se transforma e transforma a natureza, na medida em que se apropria dessa ciência que, mesmo nos dias atuais, ainda se mostra inacabada.

Atualmente, a Física Contemporânea é a física que dá suporte aos avanços tecnológicos, pois se trata da ciência que se estuda e se desenvolve atualmente, nas universidades, empresas e institutos de pesquisa públicos e privados. Com isso, acreditamos que a Física Contemporânea, por estar em desenvolvimento, pode proporcionar aos alunos um entusiasmo ainda maior, devido ao fato de não ser algo pronto, já concluído, mas algo que poderia fazê-lo pensar, projetar e refletir – indo além da imaginação – sobre diversos caminhos, aplicações e possibilidades que esta ciência pode nos proporcionar.

Trazer discussões sobre a evolução da medicina, proporcionada pela Física Contemporânea, permite vislumbrar que uma cirurgia ocular, que antes era totalmente invasiva pois cortava a retina para trocar o cristalino do olho e corrigir uma deficiência visual, levava dias para recuperação, e hoje pode ser realizada de maneira simples, com aplicação de raio laser, que além de não ser invasivo, proporciona ao paciente sair da cirurgia sem a menor necessidade de repouso.

Cirurgias do coração e de outros órgãos também são menos invasivas nos dias de hoje, sendo realizadas por meio de fibras ópticas introduzidas no paciente até a região desejada, em seguida, com a aplicação de uma determinada intensidade de raio laser, faz-se uma cirurgia de forma rápida, com poucos dias para recuperação total do paciente, ao contrário dos procedimentos mais antigos que exigiam semanas de recuperação e tinham grande risco de contaminação por bactérias.

Além das cirurgias inovadoras, exames médicos também podem ser feitos com mais precisão, como uma endoscopia, por exemplo, na qual é possível olhar o interior de um órgão sem realizar grandes cortes no corpo do paciente. Através de uma pequena incisão, introduz-se no paciente um cabo, chamado endoscópio – semelhante a uma fibra óptica – com uma fonte de luz, sendo possível capturar imagens e transmiti-las a um monitor.

Assim como na medicina, outro assunto de grande interesse para os estudantes é a tecnologia interativa – aparelhos celulares, smartphones, internet entre outros – que apesar das inúmeras vantagens em praticidade de comunicação

e diversos serviços oferecidos (compra, venda, consulta e pesquisa), também traz consigo pontos negativos e preocupantes, como o uso compulsivo desses aparelhos e seus impactos no meio ambiente.

Entre os diversos assuntos relacionados à Física Contemporânea, o conceito de luz é um dos mais presentes no mundo moderno (comunicação por fibras óticas, televisores, telas de LCD e plasma, sensores de presença, cirurgias a laser entre outros), o que evidencia a importância de aprimorar este conceito, tanto na perspectiva da Física Clássica, como também na perspectiva da Física Contemporânea. No entanto, o conceito de luz, como grande parte dos conceitos de física, é tratado nas escolas de forma abstrata e descritiva – medida de ângulos, memorização de conceitos e fórmulas e princípios de trigonometria (GIRCOREANO, 2001), voltado bem mais para física clássica, e não abordando os conceitos pelo viés da Física Contemporânea.

Segundo Santos (2011), a óptica geométrica deveria ter posição de destaque nos cursos introdutórios de física no ensino médio. Segundo ele, os princípios da óptica possibilitam compreender diversos fenômenos naturais, além de outras inúmeras aplicações, o que proporcionaria aos estudantes perceber, de maneira fácil, como os modelos abstratos da matemática são aplicados a descrições de sistemas reais. Porém, o autor também traz um dos motivos pelo qual ele acredita contribuir para a desvalorização do conceito na escola: a falsa ideia de que os princípios da óptica seriam uma área científica esgotada.

Para se contrapor a isso, Santos (2011) destaca os avanços nessa área no século XX, citando como exemplo os raios laser e a óptica quântica, os quais não chegam à sala de aula devido a sua difícil compreensão conceitual. Além desses, também são citados avanços mais recentes e importantes, como os metamateriais com índice de refração negativa. O autor propõe a inserção desse e outros temas, de maneira acessível para o professor de física no ensino médio.

Segundo Brockington e Pietrocola (2005), os desafios em se trabalhar com a FMC vão desde a complexidade imposta pela própria ciência, – pois nem sempre, na graduação do professor, a Física Moderna e Contemporânea é tratada com a devida ênfase – até a insegurança do professor em tentar qualquer mudança no domínio escolar, dado que, em muitos casos, o professor é cobrado para seguir com uma proposta voltada para uma metodologia tradicional, carregada de conteúdo, cujo foco principal é cumprir com o currículo da escola. Com isso, o

professor se vê “amarrado” a uma física limitada em conceitos, apresentados com fórmulas e contas, tendo cada vez mais dificuldade em proporcionar aos alunos uma formação crítica e autônoma, baseada numa educação científica de qualidade.

Mediante as dificuldades citadas, pode-se notar, como consequência, um desacordo das práticas pedagógicas com os artigos 35 e 36 da seção IV do segundo capítulo da LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (BRASIL, 2011), que destacam que o ensino médio tem como uma das finalidades a “compreensão dos fundamentos científicos e tecnológicos dos processos produtivos, relacionando teoria e prática” (inciso IV, artigo 35). Da mesma forma, é observado em uma das diretrizes do currículo que o ensino médio “destacará a educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes; (...)” (inciso I do artigo 36).

Sendo assim, é de extrema importância que os professores reflitam sobre suas práticas de ensino de física, observando a relação entre a física presente no cotidiano, a física que ainda está para ser discutida e a física que é discutida em sala de aula. Os educadores poderiam compreender que, periodicamente, a sociedade se renova, trazendo consigo novos desafios, cabendo aos órgãos responsáveis proporcionar condições para que os professores possam se atualizar nas diferentes formas de ensino e nos diferentes temas ligados à física, oferecendo assim condições para que o professor traga para sala de aula temas mais atuais, ligados às novas pesquisas científicas.

Pesquisando diversas publicações sobre ensino de ciências (Revista Brasileira de Ensino de Física, Caderno Brasileiro de Ensino de Física etc.) pode-se observar facilmente uma miríade de artigos que falam sobre a necessidade de inserção da FMC nos cursos de física no ensino médio (voltamos nossa atenção em especial para a necessidade de inserção da Física Contemporânea), por considerarem que este não acompanha e nem traz para a sala de aula os avanços da ciência na tecnologia, na medicina e em outros artefatos tecnológicos, sendo que estes são os assuntos que têm despertado cada vez mais o interesse e a curiosidade dos estudantes sobre esses avanços. No artigo de Oliveira *et al.* (2007), esse problema é apontado com bastante ênfase, propondo uma metodologia para ensinar raios-X, com enfoque em Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS).

Devido à grande revolução tecnológica que estamos vivendo, a maioria das novas gerações, em sua maioria, já nascem no mundo tecnológico, adquirindo

um conhecimento de senso comum baseado nas tecnologias com as quais se relacionam, criando e elaborando conhecimentos que, quando chegam à sala de aula, nem sempre estão de acordo com o conhecimento científico, porém não devem ser desprezados, uma vez que esses conhecimentos influenciam os questionamentos que os jovens trazem para a escola.

Sobral e Teixeira (2007) apresentam uma pesquisa na qual destacam a importância de os professores considerarem o conhecimento prévio dos alunos para a construção de um novo conceito, bem como Freire (2011) ressalta a importância de o professor respeitar esse conhecimento prévio, fazendo relação da sua disciplina com o conhecimento do aluno.

Na visão de Freire (2011), a educação deve sensibilizar o educando para que este tenha criticidade e autonomia com relação aos problemas de sua realidade, buscando averiguar e investigar todas as informações possíveis, permitindo-lhe fazer seu julgamento e atuando de maneira coerente na sociedade. Logo, na FMC encontramos um amplo leque de temas e conteúdos que satisfazem os critérios mencionados acima e podem ser discutidos, tanto com alunos do ensino médio, como também os do ensino fundamental.

Pensando na importância da tecnologia na sociedade e na necessidade de discuti-la no ensino através da Física Contemporânea, bem como nas condições de ensino das escolas nos dias atuais, justifica-se esta pesquisa que tem como objetivo trazer elementos da Física Contemporânea como elemento inovador para o ensino de Física Clássica, fazendo isso de forma acessível ao professor e de fácil compreensão para os alunos, trazendo uma proposta alternativa para o professor de Física do Ensino Médio nos seguintes aspectos:

- ✓ Resistência do professor: Considerando que muitas escolas ensino têm como objetivo a preparação para os vestibulares, o professor poderá através de deste trabalho ampliar o seu repertório, levando para a sala de aula um ensino inovador, porém sem abrir mão dos problemas matemáticos que estão presentes nos vestibulares.
- ✓ Aprendizado em física e a modelagem matemática: Acreditamos que a partir da resolução de problemas o aluno pode ter uma compreensão melhor a respeito do conceito ensinado, uma vez que tais problemas, e exercícios propostos, não são trazidos de forma isolada, sem contextualização com o conceito ensinado.

- ✓ Zona de desenvolvimento proximal: Através dos elementos da Física Contemporânea o professor pode fazer a mediação na escolha do tema, de acordo com a ZDP de seus alunos, bem como ampliar essa ZDP, lhe proporcionando um conhecimento novo.
- ✓ Autonomia: Embora não seja uma proposta das diretrizes de ensino preparar os estudantes apenas para os vestibulares, não devemos impedir o direito de escolha para aqueles que almejam ingressar no ensino superior, logo, este trabalho apresenta uma proposta conciliando um ensino inovador com os pré-requisitos presentes nos vestibulares.

Neste trabalho, optou-se pelo campo conceitual de óptica, no qual será destacado o conceito de refração negativa através da óptica geométrica, pois acreditamos que sobre este conceito o professor poderá, através da Física Clássica, trabalhar com ideias da Física Contemporânea, com uma metodologia acessível às condições de ensino presentes nas escolas, além de trazer para sala de aula discussões sobre novas e futuras tecnologias.

Por fim, esta é uma pesquisa que está voltada para a Física Contemporânea, por se tratar da física presente nas pesquisas científicas atuais, que proporciona novos questionamentos sobre os quais a ciência não tem resposta ainda. Dessa forma o professor, com auxílio de conceitos já conhecidos pelos alunos, pode discutir essa nova ciência que, embora ainda esteja em desenvolvimento, sua possível aplicação já é conhecida pelos alunos por estar presente em alguns filmes de ficção.

Ao final da pesquisa esperamos, com uma fusão entre Física Clássica e a Contemporânea, trazer não apenas elementos inovadores da Física Contemporânea, mas também uma abordagem alternativa para a Física Clássica.

2.1 Objetivo

Segundo Siqueira (2012), melhorar educação é importante em qualquer país, uma vez que a escola, enquanto espaço formal de educação, contribui na formação do indivíduo, na construção do conhecimento, ensina sobre a cultura desenvolvida pela humanidade e, assim, contribui para a formação básica de todo cidadão. Na visão do autor, as mudanças sociais, econômicas, políticas e

tecnológicas que ocorrem numa sociedade são fontes de demanda em termos educacionais, o que justifica a importância em promover uma educação de qualidade.

A escola e os professores devem rever suas práticas a fim de acompanhar essas mudanças, no entanto, o autor também salienta que a escola, sobre o ensino de Ciências, não tem contribuído para uma formação satisfatória do indivíduo, pois, apesar de mudanças curriculares já estarem consolidadas em diversos países, no Brasil as mudanças ainda são poucas, prevalecendo, na maioria dos casos, um ensino inadequado, de baixa qualidade, com alunos com dificuldade na leitura e nas operações básicas de matemática, além de professores incapazes de trazer para a sala de aula discussões sobre as novas tecnologias.

Nessa perspectiva, Siqueira (2012) nos chama atenção para uma reflexão sobre as possibilidades de mudanças no currículo de Ciências, em especial o ensino de Física, visando promover inovações e atualizações nesse currículo. No que se refere à reforma, mudança e inovação, ligadas a formação do professor, o autor faz a sua escolha teórica para definir cada um dos termos por diversos referenciais, entre os quais destacamos a definição dada para o termo inovação:

São mudanças nas estruturas ou no funcionamento de algo existente, sendo que a inovação interfere na inserção de novos conteúdos, mudanças nas metodologias, nas estratégias de ensino, no material didático e até mesmo em todo o currículo de Física (ESTEBARANZ 1994, *apud*. SIQUEIRA 2012).

Com base no que foi refletido sobre inovação curricular, este trabalho propõe uma inovação no ensino de Física Clássica, com a inserção de conceitos de Física Contemporânea – refração negativa –, ou seja, através da Física Clássica poder explicar um conceito da Física Contemporânea e assim, investigar se trazer essa nova abordagem, de um determinado conceito da Física Clássica incorporando elementos da Física Contemporânea para o ensino médio, influencia no aprendizado e no interesse dos alunos.

Por conseguinte, buscamos responder a seguinte questão que sustenta esta pesquisa: trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino médio, pode influenciar no aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito?

Sobre esta pergunta, fundamentamos duas hipóteses:

1) Trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino médio não influencia o aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito.

2) Trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino médio influencia o aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito.

Sendo assim, para esta investigação, será feito um comparativo com duas turmas do segundo ano do ensino médio. Numa delas (turma A) será discutido o conceito de refração da luz, com abordagem da Física Contemporânea – refração negativa – e na outra (turma B), o conceito de refração da luz, sem abordagem da Física Contemporânea. Nesse processo, será observado o aprendizado das duas turmas, bem como o interesse da turma A com relação às aulas sobre a refração negativa, ligadas à Física Contemporânea.

Considerando os diversos assuntos relacionados com o conceito de luz, optou-se pela refração negativa, cujo fenômeno está em ascensão nas pesquisas científicas e não tem aplicações concretas ainda na sociedade atual, apesar de várias possibilidades existentes. Dessa forma, podemos mostrar ao aluno que a física, apesar de todos os seus avanços, ainda permanece inacabada, dando a possibilidade dele – e de sua geração – dar continuidade ao desenvolvimento desta ciência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Mediante as justificativas apresentadas para inserção da Física Contemporânea no EM, foi realizado um estudo quanto aos conteúdos de Física Contemporânea, relacionados ao conceito de luz, voltados para o professor de física do ensino médio. Apresentamos, neste capítulo, a análise de uma dissertação de mestrado e uma tese de doutorado, além de uma revisão mais detalhada sobre os trabalhos apresentados no Simpósio Nacional de Ensino de Física - SNEF. Destacamos também, a prioridade na busca por materiais que abordavam conteúdos sobre FMC ao invés de Física Contemporânea, pois embora esta última seja o foco de nosso trabalho, ainda não é apresentada de forma isolada nos materiais de pesquisa.

No trabalho de Valente (2009) encontramos uma análise feita em nove livros didáticos, de uso frequente nas escolas de São Paulo, referente aos conteúdos sobre FMC. A autora também fez um levantamento sobre os trabalhos apresentados nos Encontros de Pesquisa em Ensino de Física – EPEFs –, referente ao período de 1998 a 2008, além de analisar dissertações de mestrado e teses de doutorado no período de 1972 a 2011 (Valente 2015).

Sobre a análise feita nos livros didáticos, Valente (2009) apresenta, dentro de três temas principais da FMC – Relatividade, Quantização da Energia e Física Nuclear – cinco conteúdos presentes nos nove livros didáticos: *Energia Relativística, Lei de Planck, Efeito Fotoelétrico, Modelo de Rutherford e de Bohr*. A autora também apresenta outros conteúdos de FMC, que aparecem na maioria dos livros: Dilatação do tempo, Fissão nuclear, Fusão nuclear, Momento relativístico, Dualidade onda-partícula, Contração do comprimento, Radiação do corpo negro, Decaimentos alfa beta e gama, Hipóteses de De Broglie, Princípio da incerteza de Heisenberg, Modelo padrão e Reatores nucleares.

A autora conclui, em sua análise, que os livros didáticos do ensino médio apresentam conteúdos de FMC de maneira formal e abstrata, tal como os conteúdos da Física Clássica, visando um conhecimento de física pela própria física apenas, fazendo poucas discussões envolvendo os aspectos tecnológicos e sociais.

Quanto aos trabalhos apresentados nos EPEFs, referente os últimos 10 anos (1998 a 2008), Valente (2009) nos traz um levantamento de 24 trabalhos sobre FMC, onde apenas 42% desses discutem propostas de ensino de FMC para o EM.

Já nas Teses de Doutorado e Dissertações de Mestrado, são contabilizados 15 trabalhos sobre a inserção de FMC no EM, no período de 1996 a 2005 (Valente 2009). Sobre esses trabalhos são abordados os seguintes temas: Dualidade onda-partícula (21%); Relatividade (14%); Átomo de Bohr (7%); Nuclear (7%); Caos (7%); Partículas e Supercondutividade (7%); Diversos (36%).

Também pesquisamos no trabalho de Valente (2015) uma análise com outros dez livros didáticos, onde ela observa cinco temas predominantes: Relatividade, Física Quântica, Física Nuclear, Física de partículas e Cosmologia. Além dos livros didáticos, a autora também apresenta uma revisão sobre as Tese de Doutorado, Dissertações de Mestrado Acadêmico e Profissional, da área de ensino de física, defendidos em instituições brasileiras no período de 1972 a 2011.

Ao total, foram analisados 138 trabalhos abordando FMC, sendo que 83% foram defendidos entre 2000 e 2011, onde a autora (Valente 2015) identifica os seguintes conteúdos sobre FMC encontrados: Energia Relativística, Física Quântica, Teletransporte, Radiação do corpo negro (PRCN), Lei de Planck, Efeito fotoelétrico, Raios X, Interferômetro Mach-Zender, Notação de Dirac, Dualidade onda-partícula, Modelo atômico de Rutherford e Modelo atômico de Bohr, Laser, Supercondutividade, Novos materiais: macromoléculas e Nanociência/nanotecnologia, Radioatividade, Reatores nucleares, Efeitos biológicos, Radiações ionizantes, Acidentes de Goiânia, Acidente de Chernobyl, Partículas elementares e Raios cósmicos.

Nos dois trabalhos de Valente (2009 e 2015), as análises da autora buscam por conteúdos sobre o ensino de FMC, porém, em momento algum, é contemplado conteúdos relacionados ao conceito de luz na perspectiva da Física Contemporânea. De maneira geral, foi possível observar uma preocupação com o ensino da FMC, bem como a ausência deste tema no EM.

A fim de aprofundarmos nossa pesquisa por trabalhos sobre Física Contemporânea, realizamos uma revisão nos anais dos Simpósios Nacionais de Ensino de Física referente aos anos de 2005 a 2015, trazendo o resultado de um levantamento dos artigos que trouxeram alguma sequência didática ou uma proposta de atividade, que abordaram temas relacionados com o conceito de luz, seja o modelo clássico, moderno ou contemporâneo.

A escolha pelo SNEF é justificada pelo fato de ser um dos eventos de maior importância no ensino de física, além de ser voltado para o professor de física

da educação básica, pois ao professor, esses eventos lhes dão oportunidade de se atualizar, oferecendo tanto material de apoio, como material de referência no âmbito de seu trabalho, com propostas de atividades e sequência didáticas a serem aplicadas em sala de aula, podendo este ser um canal interessante de comunicação, entre a academia e a escola, entre a pesquisa acadêmica e a prática do professor .

Nessa perspectiva, foi feita um levantamento dos artigos publicados quanto ao conteúdo que fazia alguma relação com o conceito de luz, na concepção tanto da Física Clássica quanto na Física Moderna Contemporânea, priorizando aqueles apresentavam alguma proposta de atividade. No caso dos artigos cujas as propostas tenham sido aplicadas em aula, foi averiguado se traziam ou não algum resultado baseado não apenas no envolvimento dos alunos, mas também sobre o entendimento e a evolução do aprendizado dos mesmos.

3.1 Procedimento

Foram analisados os seis últimos Simpósios Nacionais de Ensino de Física (SNEFs), referentes os anos de 2005 a 2015, em cada evento buscou-se pelas palavras chaves: física moderna, óptica, efeito fotoelétrico, luz, entre outras. Em seguida, fazendo uma leitura dos resumos, separamos os artigos que não apresentavam nenhuma proposta de atividade², e os que apresentavam alguma proposta de atividade. Em seguida, com uma leitura mais refinada, categorizamos os artigos de nosso interesse com as seguintes informações:

- ✓ Tema da sequência da sequência didática – se havia alguma relação com o conceito de luz contemporâneo, moderno ou clássico.
- ✓ Estratégia – de que forma foi desenvolvida a sequência didática: atividade prática, fazendo relação com o cotidiano, abordagem teórica, uso de simuladores, entre outros.
- ✓ Avaliação – forma de avaliar o aluno mediante a sequência proposta ou aplicada: questionário (conjunto de questões aplicadas antes e/ou depois da sequência), análise feita pelos estudantes (relatório ou dissertação), mapa conceitual, portfólio, entre outros.

O levantamento dos artigos permitiu analisar quais estratégias de

² Tabela se encontrda no apêndice B.

desenvolvimento didático e métodos de avaliação foram os mais utilizados. Porém, ao longo da revisão, observou-se que diversos artigos apresentavam mais de uma estratégia de desenvolvimento da sequência, assim como mais de um método de avaliação. Nesses casos, foram contabilizados como sendo um artigo para cada quesito encontrado e, por essa razão, o número total de artigos por cada quesito difere do número total de artigos que foram efetivamente analisados.

3.2 Análise da revisão bibliográfica

Como resultado, foram contabilizados 2630 artigos ao todo, sobre ensino de física (este número refere-se ao total de artigos publicados nos seis eventos pesquisados, independente do tema), sendo que apenas 77 artigos, entre as seis edições do SNEF pesquisadas, apresentaram alguma proposta de atividade envolvendo o conceito de luz (3%, aproximadamente). No gráfico 4.1 apresentamos o número de artigos relacionados ao conceito de luz, tanto na perspectiva da Física Clássica como na perspectiva da Física Moderna e Contemporânea, destacando o último evento em que as quantidades de artigos superam a quantidade somada nos três eventos anteriores.

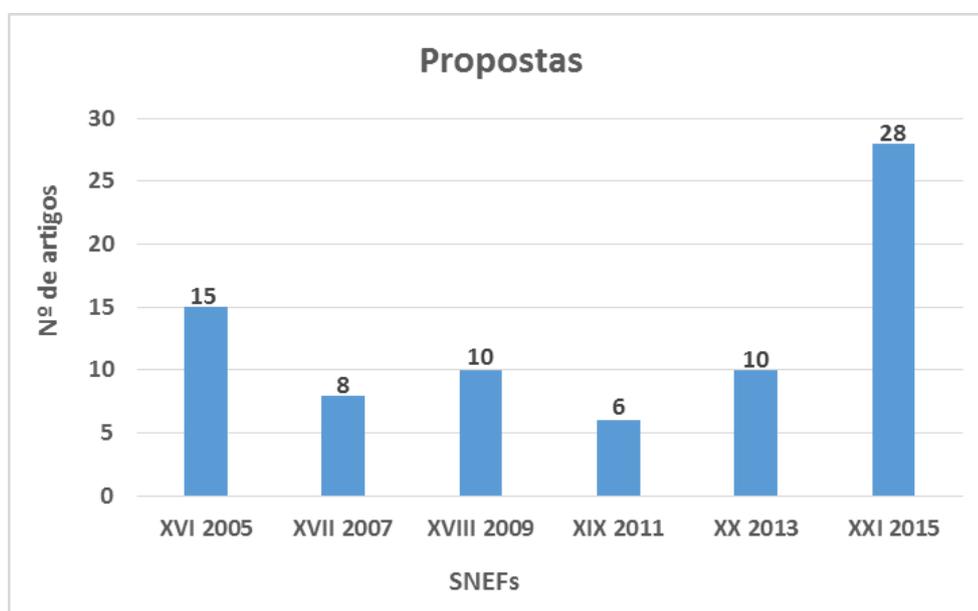


Gráfico 3.1: Nº Absoluto de artigos relacionados ao conceito de luz publicados nos SNEFs realizados entre 2005 e 2015

Verifica-se, neste primeiro gráfico, uma oscilação na quantidade de artigos publicados em cada edição do evento, a exceção da 21ª edição, cuja qual foi realizada no mesmo ano em que se comemorava o Ano Internacional da Luz, 2015.

Já no gráfico 4.2 apresentamos as quantidades de trabalhos publicados, na perspectiva tanto da Física Clássica quanto da Física Moderna e Contemporânea, que abordam o conceito de luz, totalizando os 77 artigos, observamos também, neste segundo gráfico, uma diferença pouco significativa na quantidade entre as duas abordagens.

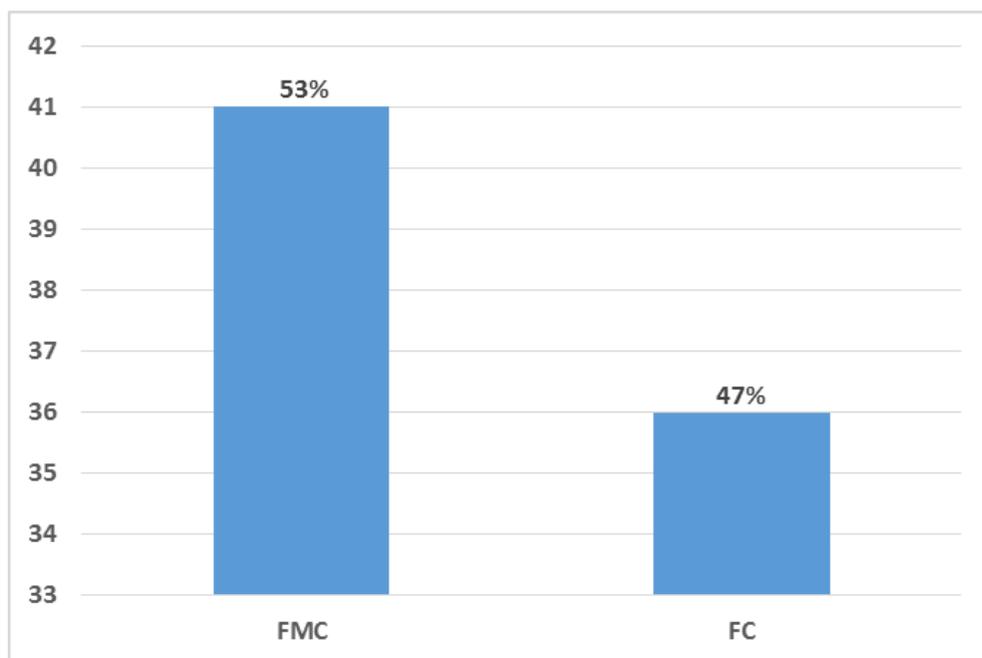


Gráfico 3.2: N° Absoluto de artigos relacionados ao fenômeno da luz separados entre FMC e FC

Observamos no gráfico 4.2 que, apesar da pouca quantidade de artigos, relacionados com o conceito de luz (comparando este número com o número total de artigos nas seis edições), podemos supor uma preocupação em trazer este conceito com uma abordagem voltada mais para a FMC do que para a FC.

Sobre as duas abordagens analisadas, separou-se, dentro de cada artigo, o conteúdo que estava relacionado com o conceito de luz. Sobre estes dados construímos dois gráficos onde apresentamos esses números. O gráfico 4.3 mostra a quantidade de artigos encontrados sobre cada conteúdo dentro da Física Clássica, dos quais foram encontrados: Óptica Geométrica, Fenômenos Luminosos, Óptica Física e História da Ciência, ressaltando a óptica geométrica como preferência pela maioria dos autores para discutir o conceito clássico de luz, cuja a quantidade de artigos é bem superior aos de fenômenos luminosos, óptica física e história da ciência, somados juntos.

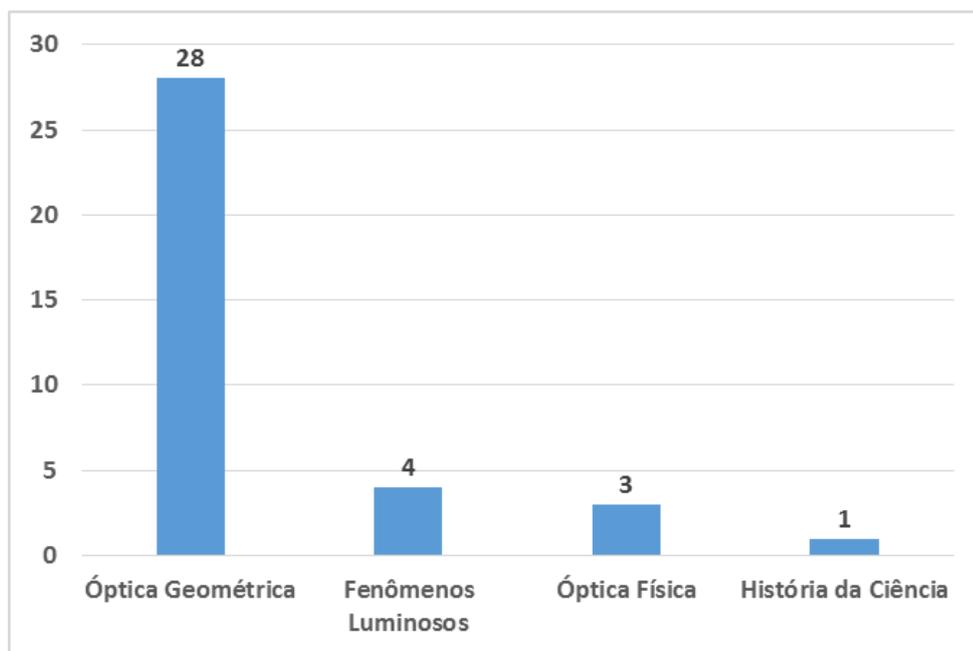


Gráfico 3.3: N° absoluto de artigos relacionados ao conceito de luz correspondentes à Física Clássica

Com base no gráfico 4.3, podemos observar que apesar dos diversos trabalhos apresentados, com o intuito de inovar o ensino sobre o conceito de luz dentro da Física Clássica, a maioria dos trabalhos traz uma abordagem priorizando os conceitos geométricos nos fenômenos ópticos, o que nos leva a supor, ser o tópico em que se proporciona melhor compreensão para os alunos sobre o comportamento da luz.

Sobre este cenário, também é relevante destacar a pouca quantidade para os conteúdos de Fenômenos Luminosos, Óptica Física e História da Ciência, os quais também são fundamentais para a compreensão do conceito de luz na visão clássica, como, por exemplo, o porquê vemos o céu azul durante o dia e alaranjado ao entardecer, bem como a ocorrência do crepúsculo antes do nascer do Sol e após o Pôr-do-Sol, Aurora Boreal, Lua Sangrenta, entre outros, cujo quais são discutidos nos conteúdos de Fenômenos Luminosos e Óptica Física.

No caso de História da Ciência, Schmiedecke e Valente (2012) ressaltam a importância de discutir História e Filosofia da Ciência dentro do ensino de ciências, observado não só em documentos oficiais, como também em trabalhos de especialistas nessa área. Os autores nos chamam a atenção para a simplificação e a omissão dos processos históricos encontrados nos livros didáticos, tendo como consequência, o desconhecimento, por alunos de licenciatura, sobre episódios de extrema importância, como o Projeto Manhattan, o programa “Átomos para a Paz”,

Assinatura do Acordo Nuclear Brasil - Alemanha Ocidental e o Programa Nuclear Paralelo, dentre outros, dos quais não chegam a sala de aula e poderiam promover inúmeras discussões e debates em aula.

Referente aos conteúdos de FMC, que envolviam o conceito de luz (ou poderiam estar envolvidos com o conceito de luz), encontramos os seguintes assuntos: Radiações, Física Quântica, Efeito Fotoelétrico, Raio X, Dualidade da Luz, Espectro Eletromagnético, Modelo Atômico, Física Nuclear e Astronomia. Neste levantamento alguns dos conteúdos encontrados não abordam exclusivamente o conceito de luz, porém foram contabilizados pela relação que o conteúdo faz com o conceito de luz. A relação desses conteúdos contabilizados, com o conceito de luz, está mais voltada para uma perspectiva das ondas eletromagnéticas, uma vez que a luz também é entendida como uma onda eletromagnética. Logo, podemos observar uma variedade significativa de tópicos relacionados ao conceito de luz. No gráfico 4.4 apresentamos a quantidade de artigos para cada conteúdo, destacando o conteúdo Radiações com maior quantidade de artigos.

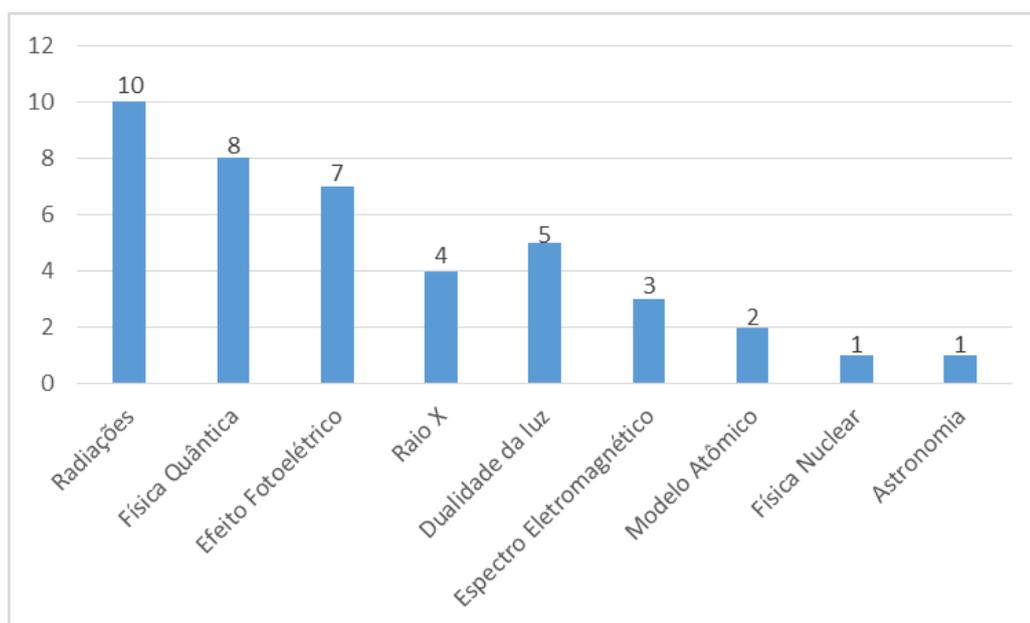


Gráfico 3.4: N° Absoluto de artigos que poderiam estar relacionados ao conceito de luz correspondentes à FMC

É notável, através do gráfico 4.4, que o professor tem muito mais opções para se trabalhar o conceito de luz, dentro da FMC do que pela FC, ainda que os números de trabalhos publicados não sejam expressivos.

Ainda sobre a análise dos 77 artigos, que apresentaram uma proposta de atividade, observou-se que a maioria das propostas apresentou, como estratégia de

desenvolvimento, atividade prática – 52 artigos – o resultado é apresentado no gráfico 4.5.

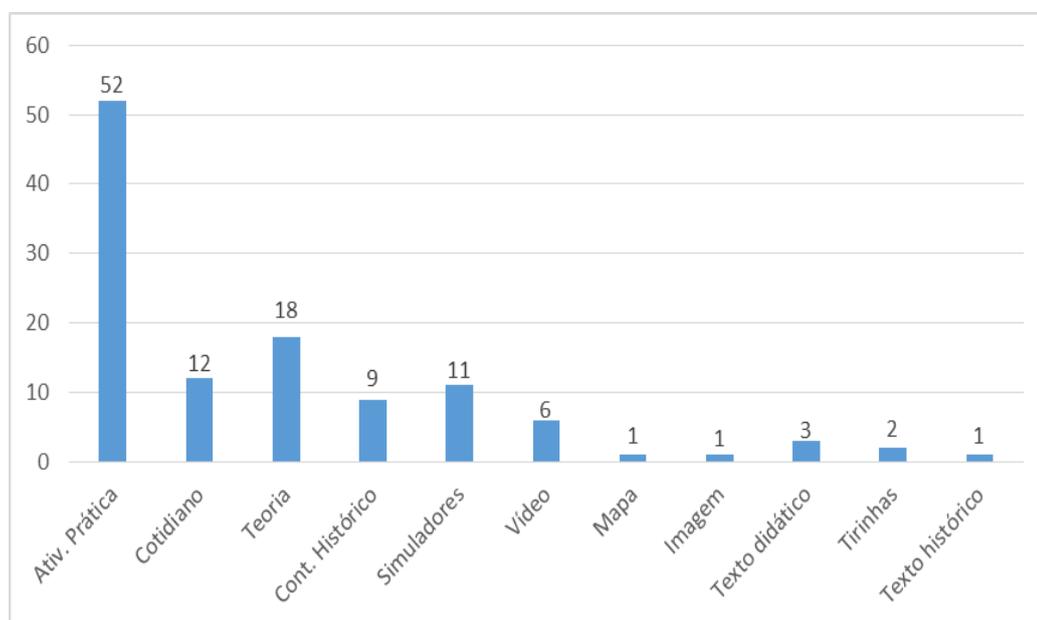


Gráfico 3.5: Estratégias de ensino apresentadas que propõem atividade

Analisando as estratégias de desenvolvimento que mais se destacaram no gráfico 4.5, observa-se uma preferência por atividades práticas (experimentos) e teóricas, porém pouco se enfatiza o cotidiano do aluno que, no caso, poderíamos fazer uma abordagem mais próxima da aplicação prática do conceito luz – instrumentos ópticos, evoluções tecnológicas, entre outros exemplos –, cujo qual justifica a importância em estudar conceito de luz, bem como os seus fenômenos na escola.

Além do cotidiano, também são poucas as atividades que trazem algum contexto histórico do conceito de luz, pois além da importância mencionada anteriormente, com o trabalho de Schmiedecke e Valente (2012), a omissão de contextualização histórica, como estratégia de ensino, negligencia o fato de que o conceito é estudado desde a época de Newton (século XVII) até os tempos atuais, e que ainda hoje traz questões não respondidas – como a dualidade da luz, por exemplo.

Também é possível observar a pouca exploração de recursos tecnológicos – simuladores e vídeos – podendo, esta situação ser compreendida a partir da falta de recursos encontrados nas escolas, pois nem todas oferecem instrumentos audiovisuais para o trabalho docente.

Já nas avaliações, muitos trabalhos, entre os da FC e os da FMC, não apresentaram resultados ou alguma proposta de avaliação – 33 artigos –, porém foi observado, sobre as que apresentavam proposta de avaliação, que a maioria tinha como método de avaliação, aplicação de questionário – 35 artigos, conforme destacado no gráfico 4.6.

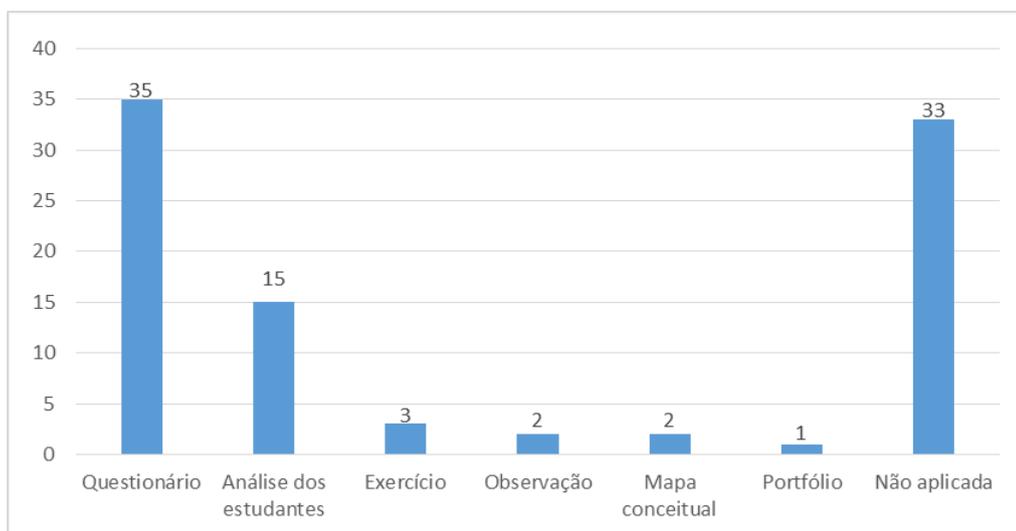


Gráfico 3.6: Formas de avaliação das sequências de ensino apresentadas nos artigos

Com base no gráfico 4.6, podemos dizer que a aplicação de questionário parece ser o método mais conhecido pelos professores para averiguar o entendimento dos alunos, porém outros métodos também foram apresentados, como o mapa conceitual e portfólio, que acabam exigindo do professor uma discussão mais profunda sobre como desenvolver esses métodos. Também foi possível observar, nas análises dos estudantes, que muitos deles apresentam grandes dificuldades em se expressar através da escrita, podendo o professor não ter uma clareza sobre o entendimento do aluno, demandando dele essa atenção especial na escolha do seu método de avaliação.

Embora tenhamos destacado os métodos de avaliação das sequências, é importante destacar que em grande parte dos trabalhos, não houve uma preocupação em extrair informação quanto ao aprendizado do aluno. O foco dos trabalhos publicados parece ser voltado apenas como uma atividade que possa contribuir com o trabalho do professor. Cabe ressaltar aqui, sobre nosso ponto de vista, que uma proposta de atividade para ensino, além da importância em proporcionar uma aula diversificada, deve apresentar resultados, para que o professor, antes de aplicar tal atividade, consiga avaliar a sua eficácia quanto ao aprendizado do aluno.

Por fim, é notável que o conceito de luz, tanto na Física Clássica quanto na Física Moderna e Contemporânea, ainda é pouco explorado no ensino de física, tendo o professor que buscar repertório não apenas no SNEF (mesmo sendo este um evento nacional), mas também em outros eventos, além de outras fontes de pesquisa, como o Caderno Brasileiro de Ensino de Física e Revista Brasileira de Ensino de Física, entre outros.

Com os resultados apresentados, esta revisão permitiu concluir que elaborar propostas de atividade envolvendo o conceito de luz, sob o aspecto contemporâneo, é um desafio para muitos professores da educação básica, seja pela complexidade do tema, ou pela insegurança do professor em tentar qualquer mudança no domínio escolar. A falta de recursos tecnológicos também pode ser outro obstáculo, uma vez que se entende que o conceito moderno e contemporâneo da luz, além de outros conceitos ligados à FMC, pode ser melhor compreendido, ou tornar-se menos complexo pelo uso de recursos multimídia.

Sobre este cenário, é importante ressaltar que, proporcionar na educação básica um aprendizado de qualidade, visando a formação de jovens críticos e autônomos, com uma educação científica de qualidade, é de responsabilidade não só do professor, mas também do órgão responsável em oferecer essa educação básica, seja na rede pública ou na rede privada, pois o professor que atua numa escola cujo número de alunos ultrapassa o ideal, os recursos que lhe são oferecidos não atendem às necessidades do seu trabalho e sua profissão não é devidamente valorizada, fica impossibilitado de proporcionar aos seus alunos um ensino que atenda o 3º artigo da Lei de Diretrizes e Base da Educação Nacional (BRASIL 2011), inciso IX, que destaca a garantia do padrão de qualidade como um dos princípios em que o ensino deve ter como base, além da valorização do profissional da educação escolar, citada no inciso VII do mesmo artigo.

No entanto, sobre a revisão realizada, foi possível encontrar propostas bastante inovadoras, podendo auxiliar o trabalho professor, pois muitas propostas de atividade prática são de baixo custo, podendo ser facilmente aplicadas e contribuir para um melhor entendimento do conceito, bem como as propostas voltadas para o cotidiano, proporcionando uma discussão sobre o conceito de luz voltado para a realidade do aluno, evitando assim uma física abstrata.

Com isso, os SNEFs, apesar de ainda não apresentarem uma gama de propostas voltadas para o ensino, sobre o conceito de luz, ainda podem ser uma boa

fonte de pesquisa para o trabalho docente, porém não a única, considerando que, para o número de artigos mencionados, sobre o conceito de luz, foi necessário fazer um levantamento dos seis últimos SNEFs. Logo, caberá ao professor buscar, nas diversas fontes de pesquisa, a melhor proposta de atividade que se encaixa com o seu objetivo e seus ideais.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa, inicialmente, tinha como objetivo promover a inserção da Física Moderna no ensino médio. As razões que nos levaram a essa escolha foram observadas pela experiência vivenciada em sala de aula, onde foi possível notar, por diversas vezes, o desinteresse dos alunos por alguns temas – ligados à Física Clássica –, bem como as dificuldades na compreensão dos conceitos, principalmente quando relacionados com formulação matemática, sendo esta justificada, muitas vezes, pela defasagem no conhecimento matemático de séries anteriores.

Por outro lado, também observamos que temas ligados às novas tecnologias tais como: astronomia, ficção científica e outros assuntos relacionados a divulgação científica e aspectos sociais – que estão vinculados à Física Moderna e Contemporânea – têm proporcionado maior entusiasmo e curiosidade por parte dos alunos.

Nossa ideia central era propor um novo ensino de óptica através do lúdico, porém embora fosse uma proposta na qual acreditávamos ser diferente e uma boa alternativa para o professor, encontramos dificuldade em promover um trabalho de pesquisa sobre esta proposta. Considerando as condições e o tempo de pesquisa, não conseguiríamos realizar uma coleta de dados que respondesse a nossa pergunta (inicialmente a questão de pesquisa estava voltada para a inserção da Física Moderna).

Sendo assim, com o intuito de aproveitar o conceito que ainda seria discutido em aula – óptica – decidiu-se pelo conceito de refração negativa. Sendo este um conceito ligado não à Física Moderna e Contemporânea, mas sim a Física Contemporânea exclusivamente, cujo objetivo seria através de uma sequência didática promover a inserção de um conceito ainda pouco discutido no ensino médio, logo, nossa proposta já não era mais a inserção da Física Moderna, mas sim a inserção da Física Contemporânea.

A Física Contemporânea refere-se à física em que se pesquisa atualmente. Podemos dizer que a física Clássica e a Física Moderna já foram a física contemporânea de suas respectivas épocas, ou seja, a física estudada na época de Newton, definida hoje como Física Clássica, era a Física Contemporânea daquela época, da mesma forma que a física estudada na época na época Einstein, definida

hoje como Física Moderna, também era a Física Contemporânea daquela época, e é através desta física – Física Contemporânea – que se obtém os avanços tecnológicos que proporcionam as grandes descobertas ao longo tempo.

O conceito de refração negativa, por sua vez, explica um fenômeno não visto na natureza, apenas em laboratório. Refere-se a um fenômeno de refração em que a luz sofre um desvio para o mesmo lado no qual incidiu, fenômeno este que ainda se encontra em pesquisa, não tendo ainda uma aplicação explícita, e por esta razão acreditamos que promover a discussão sobre este fenômeno em aula promoveria maior interesse nos alunos, por não ser algo pronto e já concluído, e sim algo que ainda está em desenvolvimento, mostrando que a física ainda permanece inacabada, podendo oferecer novas descobertas.

Sobre o conceito de refração negativa, definimos a nossa questão de pesquisa: trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino médio, pode influenciar no aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito? Através desta pesquisa criaríamos uma sequência didática para o ensino de refração negativa, promovendo dessa maneira a inserção da Física Contemporânea no ensino médio.

A fim de apurar atividades que traziam elementos da Física Contemporânea, ligados com o conceito de óptica realizamos uma revisão bibliográfica sobre os trabalhos publicados nas edições do Simpósio Nacional de Ensino de Física, além de analisarmos duas revisões bibliográficas apresentadas, uma delas em uma dissertação de mestrado (VALENTE, 2009) e a outra em uma tese de doutorado (VALENTE, 2015). Considerando que a Física Contemporânea não é tratada de forma isolada, tivemos que buscar por trabalhos que apresentassem propostas voltadas para a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC).

Segundo a revisão bibliográfica nos trabalhos de Valente (2009 e 2015), observamos uma carência da FMC no ensino médio, bem como uma preocupação quanto a sua inserção, porém, em nenhum momento, é citado algum trabalho que mencione a Física Contemporânea no ensino de Óptica.

Quanto à revisão feita nos SNEFs, também é notória a carência tanto por trabalhos voltados para o ensino de FMC no ensino médio, como também por atividades que envolvam o conceito de óptica na perspectiva da Física Contemporânea.

Mediante a carência em conteúdos de FMC, em especial a Física

Contemporânea, foco de nossa pesquisa, buscou-se observar se a inserção de elementos da Física Contemporânea contribui para o aprendizado dos alunos. Nessa perspectiva, optou-se por uma fusão entre a Física Clássica e a Física Contemporânea trazendo assim, elementos da Física Contemporânea – a refração negativa – dentro do ensino de óptica geométrica – Física Clássica.

Para a elaboração da sequência didática, foi pensado na condição de ensino das escolas públicas e na possibilidade do nosso produto final chegar à sala de aula, bem como no interesse de outros professores em apreciar esta dissertação. Nessa perspectiva, realizamos a inserção de elementos da Física Contemporânea, através da Física Clássica, apresentando uma leitura moderna da Física Clássica.

Através das aulas de física, ministradas com as duas turmas do segundo ano do ensino médio, foi possível realizar essa pesquisa, que se baseou na aplicação de uma sequência didática sobre refração negativa com o objetivo de inserir uma proposta que estivesse adequada às condições de ensino, considerando o ensino médio dentro de uma escola pública.

Para fundamentar nossa metodologia de pesquisa, apoiamos-nos nas ideias de Mayring (2002) sobre pesquisa-ação, as quais vão ao encontro de nossa metodologia. Segundo o autor, três ideias básicas que caracterizam esse tipo de pesquisa são: partem diretamente de problemas sociais concretos; no processo de pesquisa, aplicam os resultados de maneira a transformar a práxis; possibilitam um discurso igualitário entre pesquisador e as pessoas afetadas.

Fazendo uma relação das ideias do autor com a nossa pesquisa temos:

- ✓ Problema social concreto: ausência da FMC no Ensino Médio.
- ✓ Transformação da práxis: aplicação e avaliação da sequência didática.
- ✓ Discurso igualitário: coleta de dados a partir da percepção do professor e da voz dos sujeitos – os alunos.

Para responder à questão da nossa pesquisa, realizou-se a coleta de dados por meio de dois instrumentos: lista de exercícios e questionário. Consideramos duas turmas do segundo ano do Ensino Médio, onde em uma delas – turma A – desenvolvemos a sequência didática discutindo o conceito de refração negativa. Nessa turma, aplicamos os dois instrumentos de coleta. Com a segunda turma – turma B – aplicamos uma sequência semelhante, porém sem a discussão do conceito de refração negativa. Para essa turma, coletamos os dados através de lista

de exercícios apenas.

A análise dos dados foi feita de maneira quantitativa e qualitativa. Para a lista de exercícios, usamos o método quantitativo, conhecido como o método de hipótese t-Student, que permite fazer comparação de duas amostras independentes, que nesse caso foi a comparação do desempenho nas listas de exercícios entre as duas turmas do segundo ano. Para analisar os questionários – usamos o método qualitativo – conhecido como o método de análise textual discursiva, descrito em Moraes (2007).

Moraes (2007) propõe uma análise textual para pesquisa qualitativa dividida em quatro categorias. Na primeira categoria, é definido análise textual, ou seja, materiais a serem analisados – entrevistas, registros de observação, depoimento dos participantes, gravações de aulas, entre outros – denominados *corpus*, que exigem uma leitura rigorosa e aprofundada, para poder descrevê-los e interpretá-los, e assim obter a compreensão desejada dos fenômenos e discursos neles contidos. Na segunda categoria, são apresentados os resultados de forma que se possa teorizar sobre eles, ou seja, a interpretação dos resultados deve estabelecer uma ponte entre as descrições obtidas e as teorias que sustentam a pesquisa. Na terceira categoria, é produzido o texto a partir dos resultados e conclusões obtidas na pesquisa, cuja escrita deve proporcionar máxima compreensão do leitor. Na última categoria, por fim, exige do pesquisador uma intensa e profunda análise dos materiais selecionados – *corpus*.

Seguindo essa estrutura, entendemos que o nosso material a ser analisado – qualitativamente – são as respostas dos alunos ao questionário, a partir do qual selecionamos trechos que chamaremos de unidade de análise. Para organizar essas unidades de análises, tentamos agrupá-las em categorias emergentes:

Quando a opção é por *categorias emergentes* o pesquisador assume uma atitude fenomenológica de deixar que os fenômenos se manifestem, construindo suas categorias a partir das múltiplas vozes emergentes nos textos que analisa. (MORAES 2007, p. 92).

A partir do conjunto de categorias pretendemos relacionar com o que diz os nossos referenciais teóricos e a literatura a respeito da inserção de um tópico da Física Contemporânea no ensino médio.

4.1 Local da Pesquisa

A escola na qual se realizou esta pesquisa foi a Escola Estadual Professora Luiza Mendes Correia de Souza, localizada no bairro de Parque São Lucas, na zona leste da capital de São Paulo. Esta escola, atualmente tem o ensino regular nos três ciclos da educação básica: Fundamental I, Fundamental II e Ensino Médio, distribuídos na seguinte ordem: Fundamental II (8º e 9º anos) e Ensino Médio no período matutino; Fundamental I e Fundamental II (6º e 7º anos) no período vespertino; e Ensino Médio no período noturno. Com aproximadamente 2200 alunos e uma quantidade média de 35 alunos por sala, a escola está localizada no espaço urbano (centro expandido), estando a fácil acesso para alunos e funcionários, circundada por infraestrutura de saneamento básico, transporte coletivo, estando também adaptada para o acesso de pessoas com mobilidade reduzida.

Seu quadro de funcionários é composto por 75 professores – 11 do ensino fundamental I, 23 do ensino fundamental II e 41 do ensino médio – 1 diretor e 2 vice-diretores, 3 coordenadores no núcleo pedagógico – 1 para cada ciclo de ensino – e 17 funcionários no núcleo administrativo, além de funcionários terceirizados – equipe de limpeza, preparo e manipulação da merenda e cuidadores.

Sua infraestrutura oferece condições para o processo de ensino e aprendizagem dos alunos com 15 salas de aula, um anfiteatro, uma sala multimídia, uma biblioteca, 2 quadras poliesportivas, 2 pátios de recreação, 1 refeitório, 1 sala de informática – contendo 12 computadores com acesso à internet –, 1 sala de professores, 2 cozinhas, 5 banheiros – 2 exclusivo para alunos, 2 exclusivo para professores e funcionários, sendo um adaptado para deficientes e 1 exclusivo para alunos com deficiência –, além de 3 salas para direção pedagógica, coordenação e secretaria.

Segundo o Projeto Político Pedagógico da escola, a equipe gestora desprende esforços contínuos para o bom funcionamento e aprimoramento visando estabelecer a estruturação de um espaço educador, dando suporte aos professores nas questões disciplinares dos alunos, projetos escolares, festas e eventos oferecidos para a comunidade entre outros. A escola transcende seu atendimento aos educandos do próprio bairro e adjacentes, caracterizando-se como uma escola de comunidade e de grande procura, no que tange a matrícula dos alunos, pois é uma das poucas escolas da região (se não for a única) que ainda oferece os três

níveis de ensino, permitindo ao aluno concluir o ensino fundamental e médio na mesma escola. A escola também está perfeitamente adaptada para alunos com deficiência, oferecendo rampa de acesso nas duas entradas que possui, banheiro adaptado e funcionários contratados exclusivamente para atender às necessidades desses alunos dentro da escola.

Os alunos, em sua maioria, residem com os pais, nas imediações da escola, estando, boa parte, ligados a outras atividades fora da escola, como primeiro emprego em comércios locais, curso técnico, curso profissionalizante e atividades extracurriculares.

O índice de retenção dos alunos do ensino médio, foco de nossa pesquisa, matriculados em 2013 foi de 45% no 1º ano, 20% no 2º ano e 13% no 3º ano, já o índice de evasão foi de 2,7% no 1º ano, 4,3% no 2º ano e 4,5% no 3º ano, atualmente a escola cujo nível de desempenho tem como referência o Saresp (sistema de Avaliação e Rendimento Escolar do estado de São Paulo), realizado em 2013, apresenta um rendimento dos alunos do ensino médio considerado insuficiente.

5 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

Para chegarmos ao conceito de refração negativa, foi aplicada uma sequência didática sobre o conceito de luz, apoiando-se nas aulas de astronomia já discutidas anteriormente. Uma vez que os alunos já tinham um conhecimento básico sobre algumas constelações observadas no céu, bem como a relação entre astronomia e astrologia, discutiu-se com os alunos sobre o fato de que a única fonte de informação a respeito de uma estrela é a luz que ela emite e chega até nós. Logo, para entender melhor sobre um determinado astro, era preciso compreender sobre a sua fonte de informação, a luz.

Foram oito aulas, sobre comportamento da luz até abordar o fenômeno de refração. Nesta seção descrevemos de forma resumida o percurso dessas oito aulas, nas quais foram trabalhados os conceitos, aplicação de exercícios e atividades práticas. Ressaltamos que as oito aulas foram desenvolvidas tanto na turma A, quanto na turma B, porém a descrição que será apresentada foi sobre as aulas que ocorreram na turma A.

Na primeira aula, foi desenvolvida uma atividade prática conhecida como caixa óptica, a fim de avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre o comportamento da luz. A caixa óptica consiste em uma caixa fechada com dois interruptores, ou mais, que, ao serem acionados, torna possível a observação do interior da caixa por um pequeno orifício. Através desse orifício, é possível observar um determinado efeito de imagens provocado pela incidência da luz sobre um vidro transparente, espelho, ou qualquer outro artifício que tenha sido empregado na construção da caixa.

Para a realização dessa atividade, utilizou-se duas caixas ópticas – caixa 1 e caixa 2, cada uma com dois interruptores – observando, em cada caixa, um efeito diferente. O objetivo dessa atividade era que os alunos observassem o comportamento da luz sob várias situações, a fim de desenvolverem conclusões quanto ao comportamento da luz. Logo, observando o interior das duas caixas, através de seus orifícios, os alunos descreveram, para as duas caixas, o que havia em seu interior, porém as observações foram feitas em três diferentes situações: observação com as luzes apagadas, depois com apenas um dos interruptores acesos, em seguida trocando os interruptores (acendendo um e apagando o outro) e por último com os dois interruptores acesos.

Os alunos também foram divididos em grupos, a fim de proporcionar a discussão sobre o comportamento da luz, sobre cada situação observada. A aula também tinha como objetivo fazer com que os alunos criassem hipóteses ou chegassem a alguma conclusão, através da atividade proposta, sem auxílio do professor, quanto ao conceito da luz. Ao final da atividade, as caixas foram abertas para que os alunos pudessem averiguar se as descrições feitas estavam coerentes com o conteúdo da caixa.

Dentro, da caixa 1, havia dois bonecos situados em lugares diferentes, cada um, e sobre cada um havia uma lâmpada para iluminá-lo. Com o auxílio de dois interruptores, para controlar a luminosidade nos ambientes onde se encontram os bonecos, e um vidro semitransparente, que gera uma aparente conversão da imagem de um boneco em outro (e vice-versa), ou seja, os bonecos foram aparentemente “mudando”, com apenas um apagar e acender de lâmpadas.

Abaixo mostramos, na figura 5.1 um exemplo bem aproximado da caixa 1.



Figura 5.1 – Por dentro da caixa 1

Fonte: http://fap.if.usp.br/~lumini/f_bativ/f1exper.htm

O efeito observado nessa caixa refere-se ao de reflexão total e parcial da

luz, uma vez que um dos bonecos ficava invisível quando a luz de seu ambiente era apagada. Quando, por exemplo, o aluno apagava a luz onde se encontrava o boneco preto (fig. 5.1), deixando ligado o interruptor do boneco azul, o aluno enxergava, no vidro, o reflexo do boneco azul, porém quando trocava os interruptores, o aluno enxergava apenas o boneco preto. Por fim quando eram ligados os dois interruptores, o aluno enxergava os dois bonecos simultaneamente. Na figura 5.2 apresentamos uma representação esquemática sobre como foi construída a caixa 1.

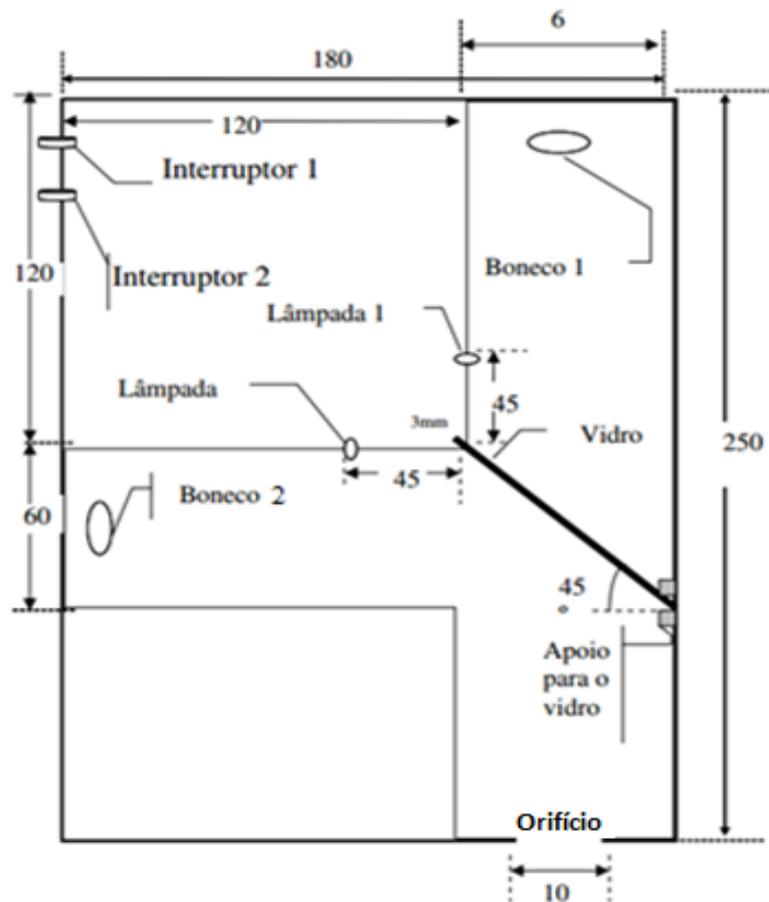


Figura 5.2 – Esquema para montagem da caixa 1 (unidade de medida em milímetros)

A figura 5.2 traz ao leitor uma ideia de como construir a caixa 1, porém as medidas e o layout são mostrados apenas como sugestão, sendo passíveis de alterações conforme for desejado.

Já caixa 2 havia dois ambientes, em que o aluno os observava por orifícios diferentes. Em cada ambiente também havia uma lâmpada para iluminação, porém os ambientes eram independentes, ou seja, em cada um se observava um efeito diferente. Em um desses ambientes havia uma imagem de dois planetas

refletidos sobre um espelho, em que o aluno deveria determinar a posição dessa imagem. Já no outro ambiente havia 3 bonecos que eram refletidos sobre um espelho, o aluno por sua vez, observando tanto os bonecos como os seus respectivos reflexos no espelho, simultaneamente, tinha que determinar a quantidade de bonecos na caixa. Apresentamos na figura 5.3 a caixa 2 que foi aplicada nessa atividade.



Figura 5.3 – Por dentro da caixa 2

Na caixa 2 foi explorado os efeitos através do espelho plano, pois uma vez que os alunos desconheciam a existência dos espelhos no interior da caixa, eram enganados quanto a posição da imagem dos planetas – pois achavam que estava no fundo da caixa – e com relação a quantidade de bonecos na caixa – pois achavam que havia uma quantidade maior de bonecos dentro da caixa.

Na figura 5.4 apresentamos uma representação esquemática da construção da caixa 2.

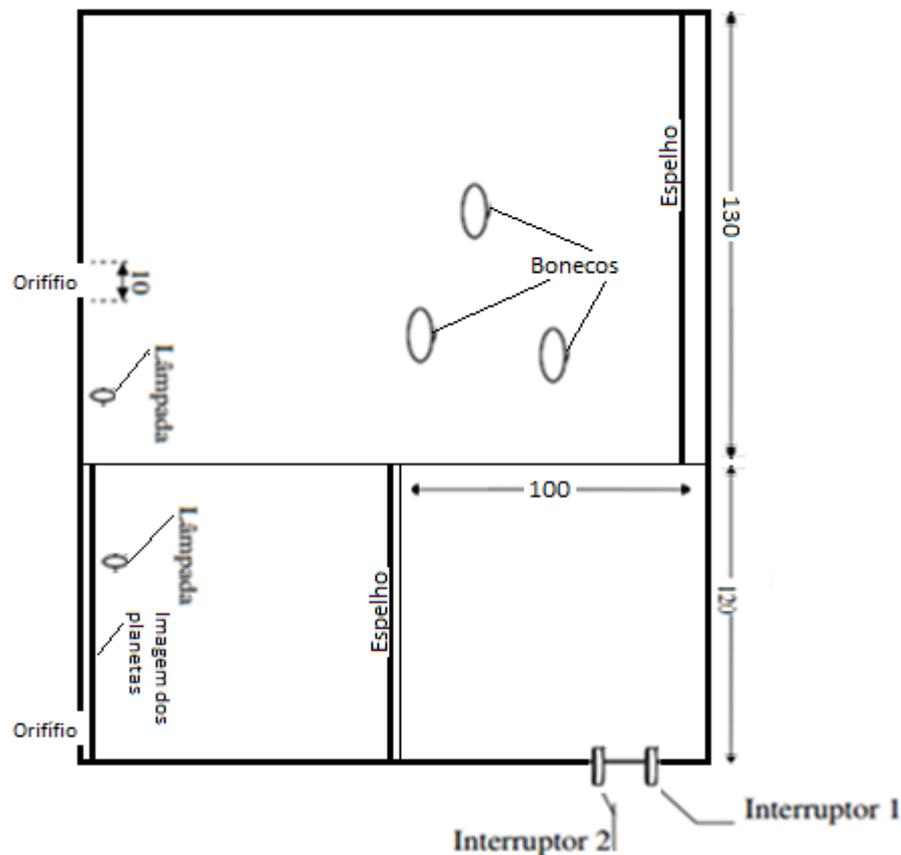


Figura 5.4 – Esquema para montagem da caixa 2 (unidade de medida em milímetros)

A atividade com as caixas ópticas foi realizada em duas aulas. A maioria dos grupos, como esperado, foram enganados pelos efeitos de luminosidade observados nas duas caixas. Na caixa 1, a grande maioria descreveu que os bonecos estavam na mesma região – um do lado do outro. Já na caixa 2, todos os grupos descreveram que a imagem dos planetas estava no fundo da caixa. Quanto a quantidade dos bonecos, referente o segundo ambiente da caixa 2, a maioria descreveu uma quantidade maior. Contudo, os alunos compreenderam que para enxergarmos um objeto é preciso a existência de luz, da mesma forma, também puderam ter uma compreensão sobre o fenômeno de reflexão parcial, muito comum em vitrines de loja e vidros de carro.

Na terceira aula, foi aplicada uma segunda atividade com oito questões a serem respondidas³, cujo objetivo era explorar melhor o conhecimento prévio dos alunos. As questões dessa atividade envolviam situações comuns do cotidiano, que não exigiam do aluno respostas muito elaboradas, e, para as questões de múltipla escolha, era exigido que o aluno justificasse a sua escolha. A atividade proporcionou

³ As questões dessa aula encontram-se íntegra no apêndice C.

várias discussões nos grupos, levantando questões sobre as quais os alunos nunca haviam pensado.

Na quarta aula, iniciou-se a discussão sobre as fontes de luz – primária e secundária –, tipos de fontes de luz – pontuais e extensas –, os meios de propagação – transparente, translúcidos e opacos – e o princípio de propagação da luz.

Com uma câmara escura foi discutido o princípio da propagação retilínea, ressaltando o funcionamento das antigas máquinas fotográficas. Para demonstrar o funcionamento da câmara, foi pedido que um aluno viesse até a frente da sala e olhasse para os alunos sentados através da caixa, relatando o que observava. O aluno, por sua vez, ficou impressionado ao observar seus colegas numa posição invertida. Logo depois, a caixa foi mostrada para cada aluno, para que todos pudessem observar o fenômeno.

Em seguida, com um periscópio, foi discutido o princípio da reversibilidade dos raios, e também foi pedido que um aluno viesse até a frente da sala, e com o periscópio posicionado atrás da porta o aluno observou, com bastante entusiasmo, seus colegas sem que eles o vissem. Após a demonstração, o periscópio também foi passado para cada aluno, a fim de que todos observassem o fenômeno da reversibilidade dos raios.

Na quinta aula, após a discussão sobre os meios e os princípios de propagação da luz, foi abordado uma aplicação do fenômeno – propagação retilínea da luz – para calcular altura. Nesse momento trabalhamos a relação geométrica da semelhança de triângulos, através da medida entre as sombras dos objetos. Alguns alunos acharam interessante a possibilidade de poder calcular a altura de uma torre, por exemplo, usando a medida da sombra dessa torre com relação a medida da sombra de um objeto menor.

Em seguida, foi aplicado dois exercícios de fixação⁴, com base no que foi discutido na aula anterior. Durante a aula, o professor percorreu a sala atendendo dúvidas e dificuldade dos alunos. Foi observado diversas dificuldades para resolução do exercício: interpretação e compreensão do texto, equacionamento das informações contidas no texto e desenvolvimento da equação. Porém, ao final da aula, a grande maioria conseguiu resolver os exercícios, sendo possível também esclarecer todas as dúvidas que foram apresentadas pelos alunos.

⁴ Os exercícios dessa aula encontram-se na íntegra no apêndice D.

Na sexta aula, retomando o experimento da câmara escura, foi explicado como se forma uma imagem no interior do olho humano, neste momento houve algumas dúvidas, sobre a possibilidade de estarmos enxergando tudo de cabeça para baixo, ou se, em algum momento, a posição da imagem poderia se reverter, e, se sim, em que momento isso acontecia. Também foi discutido a respeito das máquinas fotográficas antigas, cujo princípio de projeção das imagens era exatamente o mesmo. Por fim, foi mostrado que o conceito também pode ser aplicado como método de cálculo de altura, com o auxílio da câmara escura, onde, ao invés de usar a projeção de sombras, usamos a imagem projetada na câmara escura.

Na sequência foram aplicados dois exercícios⁵, com base na discussão tida em aula. O professor, como na aula anterior, também percorreu a sala tirando dúvidas e auxiliando os alunos em suas dificuldades. Sobre esses exercícios, foi observada uma dificuldade maior em identificar as informações contidas no texto e equacionar o problema para a resolução.

Em seguida, na sétima aula, deu-se introdução sobre os fenômenos ópticos, reflexão da luz – regular e difusa – e absorção da luz, com enfoque voltado para o fenômeno de reflexão luz. Na sequência, também foi discutida a sua aplicação como método no cálculo de altura, sendo que para este caso é trabalhado a 2ª Lei da Reflexão.

Após a discussão, aplicou-se três exercícios de fixação⁶, mantendo o mesmo procedimento das aulas anteriores na aplicação de exercícios, e, novamente, foi observado grande dificuldade dos estudantes na resolução dos exercícios, principalmente na interpretação do texto.

Na oitava aula, tomando como referência os exercícios trabalhados na aula anterior, foi realizada uma atividade de campo, onde os alunos divididos em grupos tinham que determinar a altura da telha da escola, usando como método o fenômeno da reflexão em espelho plano.

Os alunos foram levados para uma área aberta da escola e divididos em grupos, para cada grupo foi entregue uma tigela e uma trena e com essas duas ferramentas, e cada grupo tinha que calcular a altura da telha da escola⁷. Os alunos foram orientados constantemente sobre o procedimento a ser realizado. Durante a

⁵ Os exercícios dessa aula encontram-se na íntegra no apêndice E.

⁶ Os exercícios dessa aula encontram-se na íntegra no apêndice F.

⁷ O roteiro da atividade de campo encontra-se na íntegra no apêndice G.

atividade, foi observada muita dificuldade na leitura da trena, pois os valores de medida poderiam ser lidos tanto em centímetros como em polegadas. Mesmo na medida em centímetros, os alunos apresentaram dificuldade em identificar os valores de forma correta, além da dificuldade em equacionar o problema.

No entanto, ao final da atividade os grupos conseguiram chegar num valor bem próximo do valor real da altura da telha. A atividade também proporcionou grande entusiasmo por parte dos alunos, por ser uma atividade diferente, num ambiente diferente fora da sala de aula.

5.1 Iniciando o conceito de refração

Nas aulas de astronomia, os alunos já haviam tido o primeiro contato com conceito de refração quando foram respondidas algumas perguntas: “por que o sol, ao se aproximar do horizonte, sofre uma leve deformação em sua circunferência (aparência oval)?”; “por que quando o sol se põe por completo no horizonte não escurece de imediato, ou antes do nascer do Sol já podemos observar a claridade?”.

No entanto, para responder essas perguntas foi mencionado apenas sobre um desvio da luz, ao incidir de um meio para outro, não entrando em muitos detalhes com relação à variação da velocidade da luz, pois o conceito de refração seria abordado com maior profundidade no decorrer do curso.

Para discutir o conceito de refração – refração convencional – foi aplicada uma sequência didática de quatro aulas, envolvendo perguntas relacionadas aos fenômenos de nosso cotidiano, demonstração do fenômeno de refração em aula, além de aplicação de exercícios. Nos parágrafos que seguem, trazemos uma descrição resumida sobre o desenvolvimento das aulas.

Na primeira aula, deu-se o início com abordagem de duas perguntas: “por que a Lua fica vermelha quando ocorre um eclipse lunar? ”; “é possível um objeto ficar invisível ao ser imerso em um líquido? ”.

Para responder a primeira pergunta, foi mencionando o comportamento da luz ao passar por dois meios diferentes, o que altera a sua velocidade, e, uma vez que a luz sofre mudança na velocidade, sua direção também muda, gerando alguns fenômenos da natureza, como o arco-íris, crepúsculo, deformação do Sol no horizonte, entre outros. No caso de a Lua ficar avermelhada, no eclipse, é devido redução na velocidade da luz, passando do vácuo para a atmosfera, e pela dispersão das cores de alta frequência, prevalecendo apenas as cores de baixa

frequência – no caso o vermelho.

Para responder à segunda pergunta, foi realizado um experimento demonstrativo, onde um pequeno tubo de vidro era mergulhado totalmente na água, e logo depois, o mesmo tubo era mergulhado totalmente em um líquido transparente, porém não revelado aos alunos. Na primeira situação do experimento, os alunos conseguiam ver o tubo imerso na água, já na segunda situação eles não conseguiam ver o tubo, o que os deixou muito intrigados.

A partir daí revelou-se qual era o líquido – glicerina – explicando o porquê do tubo ficar invisível ao ser imerso na glicerina (sabemos que a glicerina tem um índice de refração muito próximo ao do vidro, e por isso, a luz não sofre um desvio perceptível ao olho humano), dando assim mais ênfase sobre o conceito de refração, bem como ao comportamento da luz em diferentes materiais, com auxílio de uma tabela de índices de refração, pudemos mostrar aos alunos o índice de refração de alguns materiais. Em seguida, foram discutidas algumas situações cotidianas, como a de uma caneta mergulhada parcialmente num copo com água, nos dando a impressão de que está quebrada, e o fato de quando olhamos o fundo de uma piscina e observamos sempre uma profundidade menor do que a real.

Também foi citado a respeito do conhecimento do índio, na arte da pesca com lança, que por conta do fenômeno de refração, enxerga a imagem do peixe numa posição acima da sua posição real. Os índios sabem que devem apontar sua lança não na imagem projetada, mas um pouco abaixo, e justificam esse conhecimento seguindo sua crença, de que devemos acertar não o peixe, e sim o seu espírito.

Por fim, a aula foi ministrada de maneira bastante dialogada, o que proporcionou um bom entusiasmo dos alunos, com diversas perguntas e discussões. Na sequência da aula, foram apresentadas aos alunos as leis da refração, destacando a relação geométrica existente no conceito de refração – Lei de Snell Descartes.

Na segunda e na terceira aulas, foram aplicados exercícios de fixação sobre o conceito de refração⁸. O professor, como habitual, percorreu a sala orientando os alunos com relação às dúvidas e às dificuldades, principalmente no raciocínio matemático, pois, embora os alunos tenham demonstrado um bom entendimento quanto ao comportamento da luz ao passar por dois meios diferentes,

⁸ Os exercícios dessa aula encontram-se na íntegra no apêndice H.

a maioria ainda demonstra muita dificuldade no raciocínio matemático. Ao final de cada uma das aulas, foi feita a correção dos exercícios para maior esclarecimento dos alunos.

Na quarta e última aula, foi feita uma revisão sobre o que já havia sido discutido sobre refração, tanto os fenômenos, como os conceitos e as fórmulas. Após a revisão, foram aplicados dois exercícios de fixação⁹, que encerrou o conteúdo sobre refração convencional. Nessa última aula, foi observada uma dificuldade dos alunos com relação ao raciocínio geométrico, exigido nos dois exercícios.

5.2 Discutindo o conceito de refração negativa

Com base no que foi discutido sobre refração convencional, iniciamos as aulas sobre a refração negativa, somente com a turma A cujo princípio do conceito não diverge da refração convencional, apenas apresenta um comportamento na trajetória da luz que, ao incidir sobre um meio com índice de refração negativo, faz com que o raio seja refratado para o mesmo lado no qual foi incidido¹⁰.

Com isso, foram ministradas cinco aulas sobre o conceito, sendo que, na última aula, foi aplicada uma atividade avaliativa sobre o conceito de refração convencional apenas. Essa avaliação foi aplicada nas duas turmas, a fim de fazer um comparativo quanto ao desempenho dos alunos. Nos próximos parágrafos segue a descrição das três aulas sobre refração negativa.

Aula 1

Após uma revisão sobre o que foi discutido a respeito de refração (turma A), abordou-se o conceito de refração negativa discutindo a diferença entre os dois tipos de refração – convencional e negativa. Foi ressaltado que apesar da diferença no comportamento da luz entre os dois tipos de refração, a Lei de Snell é perfeitamente aplicada, uma vez que a velocidade da luz, na refração negativa, sofre as mesmas alterações, provocadas pelas diferenças nas estruturas atômicas de cada material, no entanto, para a refração negativa, o ângulo terá um valor negativo. Isto é, para materiais com índice de refração $n = -1$, por exemplo, os ângulos de incidência e de refração terão os mesmos valores absolutos (considerando que o meio incidente seja o ar, cujo índice de refração vale 1), porém o ângulo de refração

⁹ Os exercícios de revisão encontram-se na íntegra no anexo I.

¹⁰ Toda a parte teórica sobre o conceito de refração negativa encontra-se na íntegra no apêndice A.

terá um valor negativo.

Na sequência da aula, foi discutido sobre profundidade e altura, que na refração convencional, quando se olha um objeto na água ou um objeto no fundo de uma piscina, sua profundidade é sempre maior do que a aparência, e, no caso da refração negativa, a imagem seria projetada na parte superior – fora da água –, como uma imagem em 3D. Da mesma forma, se uma janela tivesse um vidro com índice de refração negativa, um objeto que estivesse do lado de fora projetaria sua imagem no lado oposto da janela – do lado de dentro.

Por fim, também foram mencionadas as características das imagens produzidas por placas com índice de refração negativa, que pelo fato de não sofrerem nenhum efeito de aberrações e por estarem perfeitamente em foco, não refletem a luz incidente, o que faz da placa uma lente de excelente qualidade, podendo focar a luz em áreas bem menores, proporcionando uma imagem com muito mais detalhes.

Discutindo sobre a aplicação do fenômeno de refração negativa, foi colocado que tal fenômeno ainda não tem aplicação para sociedade (embora já seja uma realidade), o que evidencia que a física não está concluída e, por esta razão, tal conceito é trazido para a sala de aula para que os alunos – possíveis futuros pesquisadores – possam encontrar uma aplicação para este fenômeno, referente ao conceito moderno de luz.

Discutiu-se, também, a respeito de um fenômeno comum em alguns filmes de ficção – a invisibilidade – fenômeno este que fez bastante sucesso no filme do Harry Potter, por exemplo, em que o pequeno bruxo tinha um certo manto, conhecido como o manto da invisibilidade, e ao cobrir-se com ele, ficava totalmente invisível. No entanto, os grandes laboratórios de pesquisa já têm conseguido fazer, dessa ficção, uma possível realidade, pois uma vez que é possível criar um fenômeno de refração negativa, torna-se possível também, controlar o desvio sofrido pela luz em um determinado material, gerando um contorno da luz este material, e assim tornando-o invisível ao olho humano.

Após a discussão do fenômeno, foi aplicado um exercício como exemplo¹¹, semelhantes aos que foram aplicados nas aulas sobre refração convencional, porém com índice de refração negativo. Enquanto os alunos resolviam o exercício, o professor percorreu a sala, esclarecendo eventuais dúvidas e

¹¹ O exercício dessa aula encontra-se na íntegra no apêndice J.

dificuldades dos alunos, e ao final da aula, a grande maioria conseguiu concluir o exercício proposto.

Aula 2

Com o objetivo de trabalhar a operacionalidade do conceito, foram aplicados dois exercícios de fixação¹². Como habitual, o professor percorreu a sala orientando os alunos quanto às dificuldades apresentadas. Assim como na refração convencional, observou-se maior dificuldade com relação à aplicação matemática, porém a maioria dos alunos concluiu os exercícios propostos.

Aula 3

Para a terceira aula sobre refração negativa, foi proposto um exercício onde os alunos responderiam a seguinte pergunta: **O que você faria se tivesse um manto da invisibilidade?** O exercício permitiu aos alunos total liberdade de pensamento e de criatividade. Um aluno questionou o uso do manto da invisibilidade, dizendo que se uma pessoa estivesse totalmente camuflada com este manto, ela também não poderia enxergar nada ao seu redor logo, uma vez que para enxergar seria necessário que o reflexo da luz, sobre um determinado objeto, incidia em seu olho, e seria necessário que a luz penetrasse o manto ao invés de ser desviada por ele, e, uma vez que isso ocorresse, a pessoa coberta pelo manto não estaria invisível se estivesse com os olhos para fora, considerando que a luz, ao incidir sobre o olho da pessoa camuflada sofreria uma reflexão em todas as direções. Sobre o questionamento do aluno, foi possível constatar o seu entendimento de que para enxergarmos um objeto qualquer, não basta a existência de luz, mas que também é necessário que o seu reflexo sobre um objeto incida sobre os nossos olhos.

Aula 4

Concluído o exercício da aula anterior, foi sugerido que os alunos, em grupos, respondessem a uma segunda pergunta: **De que forma o manto da invisibilidade poderia ser benéfico para a sociedade?** Sobre esta pergunta, a grande maioria dos grupos respondeu que o manto poderia ser bastante útil na questão da segurança das pessoas, pois policiais poderiam atuar de forma mais

¹² Os exercícios dessa aula encontram-se na íntegra no apêndice K.

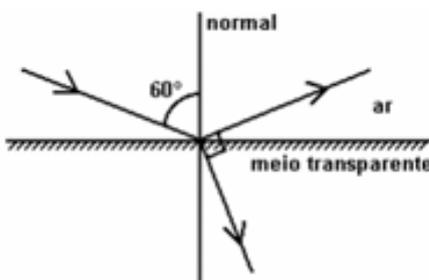
eficaz. No entanto, um grupo ressaltou que mesmo inovações com propósitos benéficos estão sujeitas a serem perigosas à sociedade, ressaltando a questão da compulsividade pela tecnologia, em que as pessoas estão cada vez mais dependentes dela, o que a torna algo bem mais prejudicial do que benéfico. Com isso, esse grupo salientou que não poderia julgar a respeito da utilidade do manto da invisibilidade, alegando a necessidade de conhecer mais sobre essa nova tecnologia.

Aula 5

Nesta aula foi aplicada uma atividade avaliativa em grupo, a fim de apurar o rendimento dos alunos sobre o conceito de refração. Essa atividade foi aplicada nas duas turmas – turma A e turma B. Como o objetivo era analisar a diferença entre o rendimento das duas turmas, não foi cobrado em nenhuma questão, o conceito de refração negativa.

Atividade

Um raio luminoso que se propaga no ar " $n(\text{ar}) = 1$ " incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:



- | | | |
|-------------------|-------------------------|--|
| a) raio incidente | d) ângulo de incidência | g) qual o índice de refração no meio transparente? |
| b) raio refratado | e) ângulo de refração | h) O que você entende por perpendicularidade. |
| c) raio refletido | f) ângulo de reflexão | |

1) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$



Por fim, após o desenvolvimento da sequência didática foi aplicado, na turma A, um questionário a respeito das aulas envolvendo a refração negativa, a fim de analisar o entusiasmo e interesse dos alunos, quanto ao conceito de refração negativa:

Questionário

1) A aula sobre refração negativa lhe proporcionou algum interesse pela ciência, ou em saber mais sobre este fenômeno? Por quê?

2) Ter estudado refração negativa lhe ajudou a entender melhor o conceito de refração de um modo geral? Justifique.

3) Após a aula sobre refração negativa, se você visse em uma revista, jornal, TV ou internet, uma matéria que falasse sobre refração negativa ou outro tema da física contemporânea, você se interessaria pela notícia? E antes dessa aula?

4) Sabendo que o conceito de refração negativa não é tão explorado nos vestibulares, você seria a favor de descartá-lo das aulas de física, para dar mais ênfase naqueles conceitos que são exigidos nos vestibulares? Por quê?

5) Sendo a refração negativa um conceito ligado às novas tecnologias (física contemporânea), você é a favor que as aulas de física tenham mais enfoque na física contemporânea? Justifique a sua resposta.

6 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresentaremos as referências teóricas que fundamentam nosso trabalho. Pretendemos discutir a construção do conhecimento científico no campo escolar e no campo científico, além de a maneira como os estudantes constroem o conhecimento e interagem com o mundo, a partir daquilo que eles sabem.

Com base nas ideias de Santos (2009), ressaltamos a importância de aproximar a comunidade científica da sociedade, o que justifica a importância dessa pesquisa, uma vez que ela tem como objetivo trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino de Física Clássica, podendo assim contribuir para a construção do conhecimento científico na escola.

A partir das ideias de Chevallard (1991) e Brockington e Pietrocola (2005), apresentamos os processos para que um conhecimento produzido pela ciência, bem como um novo conteúdo da física, para que chegue até as salas de aula, fazendo-se adaptações e simplificações quanto a sua linguagem para que, assim, um determinado conceito científico consiga ser compreendido pelo aluno. Com isso, poderemos, através da pesquisa apresentada, avaliar o seu sucesso como uma experiência didática.

Com base na teoria de Vygotsky, também explicada por Kall (2006), abordamos a mediação entre o professor e o aluno através da comunicação e linguagem, uma vez que para Vygotsky, o conhecimento não é inapto, tão pouco é recebido como um pacote pronto, mas se desenvolve levando em consideração tanto as coisas que vêm de dentro do sujeito, como as coisas que fazem parte do ambiente do sujeito, em um movimento de interação entre o meio interno – do sujeito – com o meio externo, e vice-versa.

Nessa perspectiva, procuramos apresentar a relação do nosso trabalho com os pensamentos de Vygotsky, onde a Física Clássica atuará como mediadora para o ensino de Física Contemporânea, pois será necessário, para a compreensão da refração negativa – Física Contemporânea –, a discussão da refração convencional – Física Clássica.

Por fim, também apresentamos as ideias de Paulo Freire (1991), discutindo a importância de assentarmos uma educação problematizadora, promovendo pensamento crítico e autônomo de nossos alunos, combatendo assim, a educação bancária, cujo ensino está voltado para a transmissão de conteúdo, o que em Física acontece, muitas vezes, por meio da repetição de exercícios e

memorização de fórmulas.

6.1 Construção do conhecimento científico

Santos (2009) afirma que, atualmente, a ordem científica é um modelo de racionalidade no domínio das ciências naturais, vigente desde o século XVI. Segundo o autor, existem duas formas do conhecimento não científico (considerado irracional): o senso comum e as chamadas humanidades ou estudos humanísticos (em que se incluem, entre outros, os estudos históricos, filológicos, jurídicos, literários, filosóficos e teológicos). O modelo da racionalidade, vigente hoje, acaba sendo totalitário, pois nega o caráter racional a todas as outras formas de conhecimento, que não se pauta pelos princípios epistemológicos e metodológicos das ciências naturais.

Esse modelo apoia-se na matemática, já que ela é a ideia que preside à observação e à experimentação, a partir de onde se pode ascender a um conhecimento mais profundo e rigoroso da natureza. Os conhecimentos são baseados na formulação de leis, que tem como pressupostos a ideia de ordem e estabilidade no mundo, como um mundo-máquina, onde o passado se repetirá no futuro (concepção mecanicista), o que acaba dando a ideia de que é possível dominar e transformar a realidade.

Santos (2009) ainda afirma que essa ordem científica está em crise, e faz algumas considerações sobre essa crise: 1) que ela não só é profunda como irreversível; 2) que estamos vivendo um período de revolução científica que se iniciou com Einstein e a Mecânica Quântica e que não se sabe ainda quando acabará; 3) que os sinais nos permitem não só especular acerca de um paradigma que emergirá deste período revolucionário, mas que, desde já, se pode afirmar com segurança que colapsarão as distinções básicas em que assenta o paradigma dominante. Essa crise do paradigma dominante é o resultado interativo de uma diversidade de condições sociais e condições teóricas, detalhadas a seguir:

Condições teóricas:

No pensamento de Santos (2009), graças aos avanços científicos e tecnológicos, a Relatividade e a Mecânica Quântica são bons exemplos de que as leis da física se assentam em medições locais e que o sujeito interfere no objeto observado, sendo, dessa maneira, condições que, na perspectiva do mecanicismo,

podem ser entendidas como algo que limita o rigor de nosso conhecimento, levando-nos a resultados aproximados e a considerar que as leis são probabilísticas. Além disso, os estudos do mundo “micro” mostram que pequenas flutuações podem levar a modificações do “macro”, isto é, em sistemas que funcionam nas margens da estabilidade.

Este movimento científico, e as demais inovações teóricas, tem propiciado uma profunda reflexão epistemológica sobre o conhecimento científico, e esse fenômeno acaba representando a aproximação das ciências naturais e sociais.

Condições sociais:

Ainda segundo Santos (2009), a ciência vem perdendo sua capacidade de auto regulação perante ao fenômeno global de industrialização da ciência, isto é, firmou-se um compromisso entre a ciência e os centros de poder econômicos, políticos e sociais que acabam por direcionar as prioridades científicas. Vale questionar se isso não é um processo constante ao invés de um processo atual como afirma o autor.

Santos também define o novo paradigma – paradigma emergente –, chamado por ele “paradigma de um conhecimento prudente para uma vida decente”. Considerando ser uma revolução científica, que ocorre numa sociedade em que ela própria é revolucionada pela ciência, então, o paradigma a emergir dela não pode ser apenas um paradigma científico (o paradigma de um conhecimento prudente), tem de ser também um paradigma social (o paradigma de uma vida decente).

Considerando que a ciência vá pelo caminho sugerido por Santos, será necessário repensar o ensino de ciências, pois segundo essas características fica evidente a existência de uma relação entre comunidade científica e sociedade, portanto, seria necessário chegar até a escola um conhecimento científico capaz de fortalecer essa relação, trazendo os assuntos mais atuais e permitindo, assim, os avanços da sociedade junto com os avanços da ciência.

Logo, para a construção de uma sequência didática em física, o professor precisa considerar dois campos de conhecimento: o campo das ciências exatas – relacionada aos fenômenos naturais, explicados por teorias e fórmulas bem definidas – onde o professor pontua os conteúdos e suas origens, que serão trabalhados na sequência didática para ensinar um determinado conceito ou fenômeno da natureza; e o campo das ciências humanas – relacionada a sociedade

em que o aluno está inserido – onde o professor elabora a sequência didática, levando em consideração os conhecimentos prévios e a realidade de seus alunos. Isto porque, na construção de uma sequência didática, deve-se levar em consideração o perfil do aluno e de que maneira ele irá se apropriar de tal conhecimento para intervir de forma crítica e autônoma na sociedade em que está inserido.

Baseado nas ideias de Santos (2009), citadas anteriormente, esta pesquisa pretende apresentar uma sequência didática que possibilite ao educando o acesso ao conhecimento científico, uma vez que o conceito de refração negativa é perfeitamente explicado pelas leis da física – que explica um “novo” comportamento da luz, isto é, a sua refração para o mesmo lado no qual incidiu – não observado na natureza, mas criado em laboratório, podendo ser comprovado experimentalmente e matematicamente.

Sobre essa perspectiva, a sequência apresentada aproxima o aluno do conhecimento científico, reforçando a ideia de que a física não está concluída, muito pelo contrário, cabendo ao professor discutir essa nova física – Física Contemporânea – para que desperte, nas futuras gerações, o interesse pela ciência e para que deem continuidade às novas pesquisas e às novas teorias científicas, podendo, assim, aproximar a comunidade científica da sociedade.

6.2 Construção o conhecimento escolar

É interessante pensar que a física desenvolvida atualmente leva em consideração múltiplos aspectos, o que pode ser considerado como uma abordagem complexa. Diante disso, fica difícil inseri-la em sala de aula, considerando que esses múltiplos aspectos nem sempre podem ser contemplados. Essa dificuldade na inserção de novos conteúdos corresponde a um problema que é o da transposição didática – teoria fundamentada por Chevallard (1991).

Transposição didática seria uma espécie de adaptação do saber sábio, que é o conhecimento produzido pela ciência, para o saber ensinado, que é o conhecimento produzido na escola. O saber ensinado é um “novo” conhecimento capaz de responder a dois domínios epistemológicos diferentes: ao da ciência e ao da sala de aula, respectivamente. Para o saber sábio chegar à sala de aula (tornando-se saber ensinado) ele passa por um processo que vai além da simplificação, mas considera, também, fazer escolhas e adaptações para o ensino

que são inevitáveis, devido à carga horária (no caso da física, fazer caber três ou quatro séculos de estudos em duas ou três aulas semanais ao longo de três anos), aos objetivos do curso e à maturidade do aluno.

Chevallard (1991) sistematiza e categoriza algumas das transformações que um saber passa para se tornar escolarizado:

- ✓ Dessincretização: refere-se à divisão daquele saber em campos delimitados, que dão lugar as práticas que favorecem a aprendizagem.
- ✓ Despersonalização: refere-se à separação entre o saber e as pessoas que o produzem.
- ✓ Programabilidade: tornar programável a aquisição de um saber – refere-se à programação da aprendizagem e dos controles, segundo sequências pensadas para a aquisição progressiva dos conhecimentos.
- ✓ Publicidade do saber: refere-se à definição explícita em compreensão do saber a ser transmitido.

A inserção de um novo conteúdo de física em sala de aula representa um grande obstáculo, que é o rompimento com a física já existente e adaptada ao ensino escolar, e que já possui práticas consagradas – e, às vezes, ultrapassadas. A inserção de um novo conteúdo de física, que pode contemplar a física atual, foge dos domínios de conhecimento da maioria dos professores e ainda necessita de adaptações para sua abordagem nas escolas.

Segundo Brockington e Pietrocola (2005), para o saber sábio se transformar em saber ensinado é necessário que ele tenha algumas características:

- ✓ Consensual: ao ensinar física, por exemplo, professores, pais e alunos não devem ter dúvidas quanto à veracidade do conteúdo.
- ✓ Atualidade Moral: conhecimento avaliado pela sociedade como importante e necessário para a composição curricular.
- ✓ Atualidade Biológica: fazer relação com a ciência praticada atualmente, embora alguns saberes considerados hoje

equivocados, ainda devam estar presentes no ensino devido a sua importância histórica.

- ✓ Operacionalidade: Um saber deve ser capaz de gerar exercícios e atividades para avaliação do professor.
- ✓ Criatividade didática: Alguns saberes que chegam em sala de aula não existem enquanto área de pesquisa, porém são de suma importância para o contexto de ensino, pois trata-se de um objeto com identidade didática que guarda alguma relação com o saber sábio.
- ✓ Terapêutica: Corresponde a um “selo” de qualidade, onde após diversas experiências em sala de aula fica comprovado seu sucesso.

Trazendo as ideias acima para esta pesquisa, a inserção da refração negativa no ensino fica assim justificada por ter um respaldo científico, fazer relação com a ciência praticada atualmente e preservar a identidade didática com o saber sábio. No entanto, foi papel desta pesquisa avaliar tanto a importância desse tema para a sociedade, quanto o seu sucesso como uma experiência didática.

6.3 A importância da alfabetização científica

Alfabetizar um sujeito cientificamente é torná-lo capaz de tomar decisões como um cidadão crítico e autônomo, sobre os problemas sócios-científicos e sócios-tecnológicos cada vez mais complexos (CACHAPUZ *et al.*, 2005), pois, de acordo com Marco (2000 *apud.* CACHAPUZ *et al.*, 2005), a alfabetização científica deveria ter as seguintes propostas:

- ✓ Permitir utilizar tais conhecimentos na vida diária com o fim de melhorar as condições de vida, o conhecimento de nós mesmo etc.
- ✓ Permitir que todas as pessoas possam intervir socialmente, com critérios científicos em decisões políticas.

- ✓ Alfabetização científica cultural, relacionada com os níveis da natureza da ciência, com o significado da ciência e da tecnologia e a sua incidência na configuração social.

Reid e Hodson (1993 *apud*. CACHAPUZ *et al.*, 2005) apresentam propostas diferentes a respeito da alfabetização científica:

- ✓ Conhecimentos de ciência – certos fatos, conceitos e teorias.
- ✓ Aplicação do conhecimento científico – utilização de tal conhecimento em situações reais e simuladas.
- ✓ Saberes e técnicas da ciência – familiarização com procedimentos da ciência e a utilização de aparelhos e instrumento.
- ✓ Resolução de problemas – aplicação de saberes, técnicas e conhecimentos científicos a investigações reais.
- ✓ Interação com tecnologia – resolução de problemas práticos, com ênfase científica, econômica e social e aspectos utilitários das soluções possíveis.
- ✓ Questões sócio-econômico-políticos e ético-morais na ciência e na tecnologia.
- ✓ História e desenvolvimento de ciência e tecnologia.
- ✓ Estudo da natureza da ciência e da prática científica – considerações filosóficas e sociológicas centradas nos métodos científicos, o papel e estatuto da teoria científica e as atividades da comunidade científica.

Porém, no mesmo texto, são citados diversos autores que veem a alfabetização científica como um ato irrealizável (como Fensham, Shamos, Atkin e Helms), pois para Fensham, por exemplo, a sociedade, mesmo sem qualquer alfabetização científica, não deixou de evoluir, e a maioria dos produtos tecnológicos acessíveis são concebidos sem que haja a necessidade de conhecimento sobre os seus princípios científicos. Fensham ainda ressalta a complexidade dos conceitos científicos, que estariam bem acima do que se exige na educação básica, estando

esse tipo de conhecimento acessível apenas aos estudantes de elite, que se preparam para serem futuros cientistas, além dos que já são especialistas.

Em defesa da alfabetização científica, o texto relata alguns acontecimentos históricos, como os fertilizantes químicos e pesticidas que, a partir da Segunda Guerra Mundial, produziram uma verdadeira revolução agrícola, e fez com que, anos depois, a Comissão Mundial do Meio Ambiente e do Desenvolvimento advertisse sobre o excesso de tais produtos, com relação à saúde humana. Entretanto, ressalta-se que no final dos anos 50, tais produtos, em especial o DDT, já tinham sido advertidos por Rachel Carson (1980 *apud.* CACHAPUZ *et al.*, 2005) em seu livro Primavera Silenciosa, que teria sido duramente criticado pelas indústrias químicas, e pelos políticos e cientistas. Mesmo assim, seu livro incentivou inúmeros ativistas a iniciarem um movimento contra esses produtos, uma vez que estes ativistas, mesmo sem qualquer formação específica, tinham plena capacidade de compreensão sobre as ideias de Carson.

Na escola, o professor pode discutir com seus alunos a respeito da física presente nos aparelhos eletrônicos, pois, apesar de não exigirem quaisquer conhecimentos científico para a sua utilização, entender o seu funcionamento mostra a evolução desses aparelhos, bem como a evolução da ciência, destacando ainda a evolução histórica da sociedade ao longo dos anos com o advento da tecnologia.

Uma das possibilidades é discutir a diferença entre os diversos modelos de um mesmo tipo de aparelho eletrônico, ressaltando os valores abusivos cobrados nos modelos mais novos, que quase não diferem dos modelos anteriores, além dos impactos ambientais causados tanto na produção – extração de matéria prima – até o descarte desses aparelhos – o lixo eletrônico.

Por fim, com base no que foi defendido por Cachapuz e outros autores (2005), observa-se uma grande importância da alfabetização científica, pois sendo o conhecimento um direito de todos e, tendo a formação básica o objetivo de formar um sujeito capaz de atuar na sociedade de maneira crítica e autônoma, é de extrema importância que ele conheça algo sobre a ciência para que isso ocorra, levando em consideração que uma comunidade evolui sobre os avanços científicos e tecnológicos.

6.4 Considerações sobre FMC na escola

Considerando os aspectos sociais, políticos e econômicos, um dos parâmetros para se medir a evolução de uma sociedade são os avanços científicos e tecnológicos, tanto assim que entre os diversos índices de desenvolvimento adotados internacionalmente, o IAT – Índice de Avanço Tecnológico –, criado pela Organização das Nações Unidas (ONU), é um índice que expressa o quanto um país produz e difunde tecnologia entre sua população, com a finalidade de incluí-la na sociedade da informação (SILVA, 2000).

Sobre esse parâmetro, a ciência ensinada na escola deve acompanhar as evoluções científicas e tecnológicas, ainda que, mesmo na sua complexidade e, estando muito mais acessível aos cientistas, o conhecimento é um direito de todos, sendo, portanto, um dever da escola, adaptar o conhecimento científico (saber sábio) em conhecimento adquirido na escola (saber ensinado), fazendo uma relação com as atualidades vivenciadas pelo aluno em seu cotidiano. Vale lembrar que a refração negativa, embora não faça parte do cotidiano dos alunos, tão pouco tem uma aplicação ainda, está presente na realidade atual, por ser um dos fenômenos que está em pesquisa no momento, e, portanto, dentro mundo contemporâneo vivido pelos alunos.

Apesar das inúmeras dificuldades que possam existir quanto à inserção de novos conteúdos de física – FMC – acreditamos na importância dessa inserção para promover uma nova formação nos estudantes, visando uma atuação crítica na sociedade. É possível que com a inserção de conteúdo de uma nova física, outros conteúdos devam ser descartados do currículo escolar, porém devemos pensar não na quantidade de conteúdos ensinados, e sim, na qualidade dos poucos conteúdos que venham a ser contemplados.

Além das razões para inserção da FMC no ensino médio, apresentadas nesta dissertação, encontramos no trabalho de Valente (2009) três conjuntos de justificativas que se interseccionam e consagram as razões apresentadas: ciência, tecnologia e sociedade e, assim, a relação dos aspectos científicos, ligados à natureza da própria ciência e a sua visão de mundo; tecnologia, referente aos aparelhos tecnológicos presentes no cotidiano; a necessidade de um cidadão contemporâneo em compreender essa ciência no mundo tecnológico, para ter um posicionamento crítico sobre as implicações impostas pela ciência e tecnologia na sociedade.

A partir dos documentos acima, entendemos que o papel do estudante deverá ser mais ativo, constituindo uma relação onde a física tem mais a “cara” do próprio sujeito e que promove, portanto, o conhecimento sobre si mesmo e sobre o mundo. Também acreditamos que, com uma física menos mecanicista, o conhecimento científico perderá seu status de conhecimento superior, correto e imutável, o que muitas vezes acaba por distanciar os estudantes, uma vez que eles consideram que esse é um conhecimento acessível apenas a uma pequena parcela das pessoas, consideradas “gênios”.

Tendo o aluno a possibilidade de conhecer melhor a si mesmo e ao mundo, o conhecimento não estará mais ligado a uma necessidade do homem de controlar a natureza, mas agora, de contemplar. É também possível pensar que num novo paradigma, questões atuais da educação, como por exemplo, a preocupação com o vestibular e a inserção do sujeito no mercado de trabalho, caíam por terra, uma vez que nessa nova relação com o conhecimento, a formação social do indivíduo ganhará uma nova importância. Assim, quem sabe, esse modelo escolar que conhecemos praticamente desde o século XVI e que vem apontando alguns sinais de crise, também possa ganhar um novo paradigma.

6.5 Construção o conhecimento pelos estudantes

Em geral os alunos chegam à sala de aula carregados de informações e conhecimentos, adquiridos durante a sua formação no seu contato com o mundo. Estes conhecimentos variam de acordo com a formação cultural na sociedade em que o aluno vive, porém é importante que na escola o aluno aprofunde seus conhecimentos, apropriando-se inclusive de um repertório científico para que possa desenvolver um senso crítico ao longo de sua vida, entendendo não só como certas coisas funcionam, mas também o porquê delas funcionarem de tal forma e não de outra, além de entender como isso influencia a sociedade, o meio ambiente, a economia etc.

Gómez-Granell (1998) diferencia o conhecimento científico do conhecimento cotidiano, afirmando que possuem epistemologias diferentes. O pensamento cotidiano é fruto da experiência social direta e se adquire mediante participação nas práticas culturais habituais de uma determinada sociedade, ou seja, o conhecimento prévio seria adquirido pelo sujeito baseado em sua experiência de vida na sociedade em que vive, sendo seu aprendizado inevitável para qualquer

indivíduo, uma vez que este vive em uma sociedade e introjeta, nesta sociedade, seus hábitos e cultura. Já o conhecimento científico envolve a aprendizagem de um método, uma forma de discurso que não é natural e que exige um esforço consciente e sistemático de explicitação e racionalização, podendo ser esta uma opção do sujeito em adquirir ou não tal conhecimento.

Segundo Gómez-Granell (1998), o conhecimento cotidiano embora seja, em algumas vezes, ilógico, por se basear em princípios que diferem dos princípios da lógica formal, não quer dizer necessariamente que ele seja irracional, pois a qualidade de um tipo de raciocínio não depende de sua natureza intrínseca, mas de sua utilidade para certas esferas de atividade e, naturalmente, da valorização social e cultural. Em outras palavras, ambos os conhecimentos são adquiridos com finalidades diferentes, para atividades diferentes, possuindo assim, valores diferentes. No entanto, os dois tipos de conhecimento – cotidiano e científico – podem coexistir num único sujeito em uma relação mútua em função das exigências e necessidades do indivíduo.

Sobre os dois tipos de conhecimento, também são destacados pela autora que assim como dentro do conhecimento cotidiano existe uma variedade de tipos de conhecimentos, muitos dos quais incorporam características tradicionais do conhecimento científico. Como exemplo, podemos citar o conhecimento dos índios na arte da pesca com lança, em que ao avistar um peixe, próximo à superfície da água, sabem que devem mirar sua lança não diretamente no peixe, mas numa direção um pouco abaixo, pois segundo a crença indígena, para acertar o peixe é preciso mirar a lança em seu espírito (que estaria localizado um pouco mais abaixo).

Considerando que os índios não têm qualquer conhecimento científico quanto ao comportamento da luz quando se propaga em meios com densidades diferentes, ainda assim possuem um tipo de conhecimento – etnocientífico – que, embora fosse apenas uma crença quanto a “métodos” para poder pescar, lhes permite atuar com extrema eficácia na atividade da pesca.

Trazendo as ideias de Gómez-Granell (1998) para a educação escolar, observa-se a importância de aproximar os dois conhecimentos – cotidiano e científico –, pois como já mencionado anteriormente, os alunos chegam à escola com certos conhecimentos prévios – conhecimento cotidiano – construídos ao longo de sua formação, na sociedade em que estão inseridos, cabendo a escola proporcionar-lhes, a partir desse conhecimento, a construção do conhecimento

científico.

Para que isso ocorra é necessário que o aluno desconstrua seu conhecimento, porém ele não o fará simplesmente porque o professor lhe disse algo que contradiz seu pensamento, ou disse que este conhecimento está errado. É importante que o professor questione o aluno quanto ao seu conhecimento prévio e crie situações de problema, para que a partir dos questionamentos e das problematizações apresentadas, o aluno de forma convicta, desconstrua seu conhecimento, construindo um novo, sendo este um conhecimento de qualidade mais científica.

Com base no que foi discutido por Gómez-Granell (1998), a inserção da refração negativa no ensino de óptica poderia aproveitar-se não apenas do conhecimento sobre os fenômenos de refração, vivenciada no cotidiano do aluno, mas, a partir de uma boa compreensão da refração convencional – através da óptica geométrica – iniciar-se-ia uma discussão sobre os avanços da ciência e os futuros fenômenos que contribuirão não apenas para a evolução da ciência, como também para a evolução da sociedade.

6.6 Vygotsky

Nesta seção nos apoiaremos nas teorias de Vygotsky, segundo Kall (2006), referente à mediação entre o professor e o aluno. Uma vez que para Vygotsky o conhecimento não é inapto, tão pouco é recebido como um pacote pronto, mas que se desenvolve levando em consideração tanto as coisas que vêm de dentro do sujeito como as coisas que fazem parte do ambiente no qual o sujeito está inserido, capaz de promover uma interação entre o meio interno do sujeito com o seu meio externo e vice-versa.

6.6.1 Mediação com o mundo

Na mediação com o mundo, Kall (2006), apoiada na teoria de Vygotsky, explica que a relação do homem com o mundo não é uma relação direta, e sim, uma relação mediada, podendo acontecer por meio de signos ou por meio de instrumentos. A mediação por meio de instrumentos é definida como a mediação de um determinado objeto (instrumento) sobre a ação humana. Um professor, usando um giz para escrever na lousa, ou uma pessoa usando uma serra para cortar uma madeira, nas duas situações apresentadas existe uma mediação de um determinado instrumento – o giz para escrever na lousa e a serra para cortar a madeira – que faz

uma mediação do sujeito e de sua ação sobre o mundo. Já a mediação por meio de signos, Vygotsky (1987) refere-se aos símbolos presentes no cotidiano da sociedade, que seriam os meios de comunicação para nos auxiliar na execução de determinadas ações – sinalização de trânsito, semáforos, sinalização de saídas de emergência (ou de proibido fumar) em locais públicos, etc. Ainda na mediação por signos, Vygotsky nos chama a atenção para duas formas de como esta pode acontecer:

- ✓ Existência concreta: Sinalizações públicas, compartilhado por todos os usuários do sistema – informações de natureza simbólica – exemplo: placas de trânsito.
- ✓ Existência abstrata: Um objeto e a sua natureza simbólica no interior do sujeito, ou seja, um objeto ao ser observado, mesmo não tendo nenhum símbolo, tem um significado que está ligado ao interior o sujeito por já conhecer aquele objeto. Comportamento das pessoas em uma igreja por exemplo, é diferente do comportamento que elas teriam em uma feira livre, da mesma forma, os diferentes comportamentos dos alunos com cada professor. Logo, o significado que um objeto ou estabelecimento tem para o sujeito define o seu comportamento e suas atitudes, naquele determinado local ou para aquele determinado objeto.

A diferença entre relação direta e relação mediada, segundo Vygotsky, é pelo fato de que na relação direta não há nenhum meio de mediação entre a ação do sujeito e o mundo, podemos citar como exemplo uma criança brincando com uma vela acesa, ao encostar o dedo, a criança imediatamente sentirá uma dor, essa relação é direta – o dedo da criança e a chama da vela. Já num segundo momento, esta mesma criança pode estar com uma vela acesa e, ao invés de encostar o dedo na chama, ela apenas o aproxima, evitando sentir a dor que sentiu no primeiro momento, relacionada a lembrança tida com a vela no momento anterior. A lembrança da dor, portanto, seria a mediação entre a vela e a ação da criança.

Uma outra forma de mediação é a da informação, onde uma determinada ação é executada, ou evitada, por intermédio de uma informação concebida. Se pensarmos no exemplo anterior da criança segurando a vela, só que dessa vez, antes da criança encostar o dedo na chama sua mãe lhe chama atenção, dizendo

para não pôr o dedo na chama, porque queima; está aí uma relação mediada, pela informação transmitida pela mãe. Sobre este conceito – mediação por informação recebida – evidencia-se a importância do trabalho de Vygotsky na educação, pois grande parte da evolução humana no mundo, é mediada por experiências de outras pessoas.

Na escola, o trabalho do professor como mediador sobre o aprendizado do aluno é fundamental, pois permite a ele trilhar um caminho mais curto para a apreensão de objetos mediadores, concedendo ao aluno conseguir construir o seu conhecimento sobre determinado conceito. Mais do que isso, o professor pode proporcionar ao aluno criticidade sobre aquilo que está aprendendo, uma vez que o professor faz a mediação do conceito abordado no livro didático com o aprendizado do aluno.

Assim como o professor pode ser um mediador sobre o aprendizado do aluno, o conhecimento prévio do aluno, também pode ser um mediador para um aprendizado novo, onde o professor, conhecendo esse conhecimento prévio, usa-o como instrumento de mediação para proporcionar a construção de um novo conhecimento. Da mesma forma também, um conhecimento novo pode exigir um conhecimento anterior, que não necessariamente seja o conhecimento prévio do aluno, para que este faça a mediação com o conhecimento novo.

Fazendo uma relação com o fenômeno de refração negativa, tratado nesta dissertação, o professor poderá fazer, através da refração convencional, uma mediação para o ensino de refração negativa. Logo, observa-se sobre esta situação, a importância da Física Clássica no ensino, atuando como uma mediadora para o ensino de Física Contemporânea

6.6.2 Formação do conceito

Segundo Vygotsky (1987), a formação dos conceitos mais abstratos se dá somente na adolescência, sendo um processo criativo e não mecânico e passivo. O conceito surge e toma forma no decurso de uma complexa operação orientada para a resolução de um problema, e o fator decisivo para a gênese dos conceitos é a chamada tendência determinante. Para que o processo comece, terá de surgir um problema que não possa ser resolvido de outra forma, a não ser pela formação de novos conceitos. O professor pode propor um determinado problema ou um questionamento, baseado no conhecimento já existente de seu aluno, e esse

problema exigirá do aluno um novo conceito.

Pensando novamente no ensino sobre refração negativa, o professor pode, com base no conhecimento do aluno sobre refração convencional, aprendido anteriormente, propor uma situação, ou um questionamento sobre a possibilidade de a luz contornar um objeto ao invés de refratá-lo, ou sofrer uma refração no qual a luz sofresse um desvio para o mesmo lado do qual incidiu. Inicialmente os alunos, por desconhecerem tais avanços da Física Contemporânea, poderiam achar impossíveis e, a partir dessa situação, o professor poderia iniciar a discussão sobre o fato de não apenas ser possível, como já ser uma realidade nos laboratórios de pesquisa.

6.7 Paulo Freire – Pedagogia da Autonomia

Na visão de Freire (2011), a importância de ensinar se deu com a necessidade de aprender, e o autor ressalta que ensinar não deve se limitar à repetição e à mera transmissão de conhecimento. Ensinar deve possibilitar a construção de um novo conhecimento, e, para isso, é de extrema importância manter viva, tanto no educando quanto no educador, a curiosidade, a capacidade de aventurar-se e arriscar-se. Esses fatores é que diferenciam, para o educador, a educação problematizadora da educação bancária, pois uma se refere à transmissão de conteúdo, por meio de repetição de exercícios e memorização de fórmulas – educação bancária – e a outra refere-se à problematização, à investigação por parte do educando com auxílio do professor – educação problematizadora.

Nessa perspectiva, Paulo Freire ainda destaca que é importante que o ensino desenvolva no educando capacidade de enxergar de forma crítica o mundo em que vive. Para isso, o educador deve não apenas respeitar os conhecimentos prévios do educando, como também suas limitações e suas origens, abrindo discussões referentes aos problemas enfrentados diariamente por eles. Deixar claro ao aluno que seu aprendizado na escola lhe dará a formação de um cidadão crítico e autônomo na sociedade em que vive, perante aos problemas com os quais ele se depare, podendo, então, assumir-se como ser histórico e sociológico, enxergando o seu papel comunicante, transformador, criador e realizador de sonhos, em uma sociedade que se renova a cada geração.

Na perspectiva de uma educação crítica e autônoma, Paulo Freire, no seu livro Pedagogia da Autonomia (FREIRE, 2011), ressalta que a educação não é imparcial, mas, ao contrário, é parcial, política e ideológica, cabendo ao professor ter

consciência de que o seu trabalho não se resume em ensinar por ensinar, da mesma forma que para o aluno não se resume em um aprender por aprender, mas que o que é ensinado, bem como o que é aprendido, pode transformar o educando numa pessoa mais atuante na sociedade, lutando contra desigualdade e a injustiça, avaliando sobre o que é certo e o que é errado, o que é verdadeiro e o que é falso. Sendo assim, é importante que o educador reconheça isso em seu trabalho e não omita de seus educandos, deixando claro em suas aulas que a vida sofrida e pobre de um sujeito, por exemplo, não é culpa dele, tão pouco algo que não possa ser mudado, mas algo que este sujeito pode e deve protestar, cobrar melhorias das autoridades e acima de tudo resistir, buscando assim, meios de mudar. Pois a educação é atuante e tem como objetivo libertar o educando da miopia crônica criada pelo governo neoliberal que, com ajuda da imprensa, diz abertamente que tais problemas como desemprego e crise econômica são problemas globais inevitáveis.

7 RESULTADO

Neste capítulo apresentaremos os resultados com base na lista de exercícios, aplicada nas duas turmas, e no questionário aplicado somente na turma A. Com base nesses dois instrumentos de avaliação foram feitas duas análises, quantitativa e qualitativa, de maneira a se complementarem e, assim, nos permitir chegar a uma conclusão a respeito do aprendizado e do interesse dos alunos sobre a sequência aplicada.

7.1 Análise Quantitativa

Para a análise quantitativa, aplicamos o método de hipóteses Teste t-Student, com base no desempenho apresentado pelas duas turmas sobre a lista de exercícios aplicada, tornando possível realizarmos um comparativo de duas amostras independentes.

Além do método de hipóteses Teste t-Student, também fizemos um levantamento das repostas obtidas pelos alunos da Turma A, sobre o questionário aplicado, averiguando, nesse primeiro momento, se a inserção do conceito de refração negativa contribuiu no desempenho do aluno, ao resolver um conjunto de exercícios.

7.1.1 Resultado da atividade aplicada – Lista de Exercícios em ambas as turmas

A tabela a seguir apresenta o rendimento das duas turmas com as notas de 0 a 10. Os alunos realizaram a atividade em grupos de três alunos, logo foi analisado um total de 14 atividades em cada turma¹³:

¹³ A lista de exercícios, referente a esta atividade, pode ser consultada nos apêndices M e N.

Tabela 7.1 – Rendimento das duas turmas

Turma A		Turma B	
Refracção negativa		Refracção convencional	
Grupo	Resultado	Grupo	Resultado
1	4,50	1	1,00
2	6,00	2	2,50
3	9,50	3	1,00
4	7,50	4	1,00
5	2,50	5	1,00
6	7,00	6	4,00
7	3,00	7	1,00
8	1,00	8	1,00
9	4,00	9	1,00
10	1,00	10	1,00
11	7,50	11	1,00
12	6,00	12	7,00
13	7,50	13	6,50
14	7,00	14	2,50

Dados da Pesquisa

O método de hipóteses Teste t-Student, usado para averiguação de hipótese, ou seja, quando temos duas hipóteses e pretendemos averiguar qual das duas satisfazem a pergunta de nossa pesquisa, o que nos permite aplicá-lo para os seguintes casos:

- ✓ Comparar uma amostra (μ) com uma população.
- ✓ Comparar duas amostras pareadas – duas situações diferentes para um mesmo sujeito (μ_{antes} e μ_{depois}).
- ✓ Comparar duas amostras independentes (μ_x e μ_y).

Neste caso será apurado se uma variável difere entre dois grupos diferentes, ou seja, nesta pesquisa será verificado se trabalhar conceitos moderno de luz – refração negativa – pode contribuir para o aprendizado do aluno.

Inicialmente adotamos duas hipóteses:

- 1) Trabalhar conceitos modernos de luz – refração negativa – não influencia no aprendizado do aluno (H_0 : hipótese nula – $\mu_x = \mu_y$).
- 2) Trabalhar conceitos modernos de luz – refração negativa – influencia no aprendizado do aluno (H_0 : hipótese alternativa – $\mu_x \neq \mu_y$).

Estabelecendo assim a seguinte equação para as hipóteses:

Equação 7.1: Hipóteses nula e alternativa

$$H_0: \mu_x = \mu_y \quad (7.1)$$

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y$$

Para chegarmos a uma das duas hipóteses será calculado a distribuição t ($t_{\text{calculado}}$) e comparada com a distribuição conhecida crítica ($t_{\text{crítico}}$). O nível de significância será de 5%, ou seja, para a hipótese 1 ser descartada, deverá haver uma diferença entre as duas distribuições maior do que 5%.

Inicialmente, calculamos a média \bar{X} nos dois grupos através da equação

7.2

Equação 7.2: Cálculo da média para a turma A

$$\bar{X}_A = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \rightarrow \bar{X}_A = \frac{74,0}{14} \rightarrow \bar{X}_A = 5,29 \quad (7.2)$$

Equação 7.3: Cálculo da média para a turma B

$$\bar{X}_B = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \rightarrow \bar{X}_B = \frac{31,5}{14} \rightarrow \bar{X}_B = 2,25 \quad (7.3)$$

Onde X corresponde aos resultados obtidos por cada grupo e n corresponde a número total de grupos avaliados.

Na sequência calculamos a variância $S_{\bar{A}-\bar{B}}$ pela equação 7.4

Equação 7.4: Cálculo da variância

$$S_{\bar{A}-\bar{B}} = \sqrt{\frac{(\sum(X_A - \bar{X}_A)^2) + (\sum(X_B - \bar{X}_B)^2)}{n(n-1)}} \rightarrow S_{\bar{A}-\bar{B}} = \sqrt{\frac{(91,36 + 57,88)}{14(14-1)}} \rightarrow S_{\bar{A}-\bar{B}} = 0,91 \quad (7.4)$$

A distribuição t_{calc} . é obtida pela equação 7.5.

Equação 7.5: Cálculo do t_{calc}

$$t_{\text{calc}} = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B) - (\sum(X_A - \bar{X}_A)) - (\sum(X_B - \bar{X}_B))}{S_{\bar{A}-\bar{B}}} \rightarrow t_{\text{calc}} = \frac{5,29 - 2,25}{0,91} \rightarrow t_{\text{calc}} = 3,34 \quad (7.5)$$

Para determinar o $t_{\text{crítico}}$ calcula-se, inicialmente o grau de liberdade df através de equação 7.6.

Equação 7.6: Cálculo do df

$$df = (n_A - 1) + (n_B - 1) \rightarrow df = 13 + 13 \rightarrow df = 26 \quad (7.6)$$

Pela tabela de distribuição t-Student, para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e $df = 26$ é encontrado o $t_{\text{crítico}} = 2,056$. Sendo o $t_{\text{calc}} = 3,35$, temos a seguinte situação no gráfico.

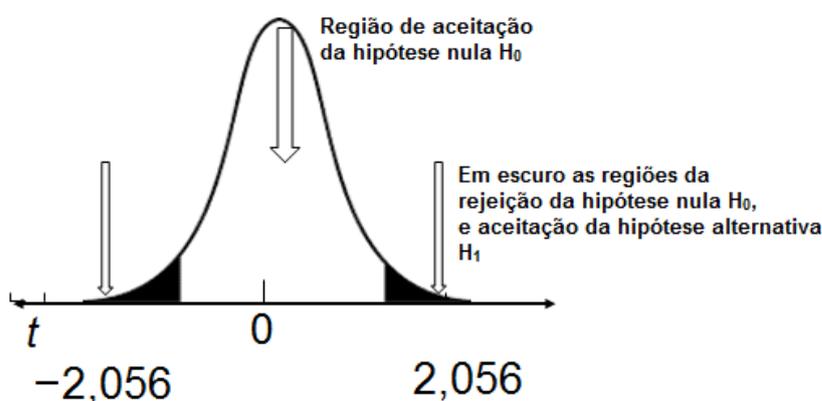


Gráfico 7.1: Região de aceitação das hipóteses do teste

Com base nos dados, obtidos através do método Student, conclui-se que $t_{\text{calc}} > t_{\text{crítico}}$, pois a média da turma A, para um nível de significância de 5% foi significativamente melhor que a média de turma B, ou seja, trabalhar o conceito de refração negativa contribuí para o aprendizado do aluno.

7.1.2 Resultado do questionário aplicado – Turma A

Sobre o questionário aplicado na turma A – turma a qual foi discutido o conceito de refração negativa, obteve-se o seguinte resultado¹⁴:

Referente à questão 1

A aula sobre refração negativa lhe proporcionou algum interesse pela ciência, ou em saber mais sobre este fenômeno? Por quê?

Dos 29 estudantes que responderam o questionário, 18 afirmaram que a aula despertou interesse pela ciência, ou pelo fenômeno de refração negativa. Alguns responderam não ter tido interesse pela ciência após a aula, porém gostariam de saber mais sobre o fenômeno de refração negativa. Um aluno

¹⁴ As respostas dos alunos, sobre o questionário aplicado, encontram-se na íntegra no apêndice O.

respondeu que passou a gostar de ciências, depois de ter tido a aula sobre refração negativa, e 9 alunos responderam que, mesmo após a aula sobre refração negativa, não tiveram nenhum interesse, tanto por ciência como pelo fenômeno de refração negativa. Além disso, 2 estudantes não responderam.

Tabela 7.2 – Valor absoluto de resposta da questão 1		
Sim	Não	S/ Resp.
18	9	2

Referente à questão 2

Ter estudado refração negativa lhe ajudou a entender melhor o conceito de refração de um modo geral? Justifique.

Dos 29 estudantes, 11 responderam que sim, ajudou a entender melhor o conceito de refração. Porém, analisando essas respostas, é possível observar que alguns estudantes se referiram mais ao conceito de refração negativa do que ao de refração, de um modo geral. Um estudante respondeu ter entendido, porém não entendeu como executar as contas (este caso foi classificado como não contribuiu para o entendimento). Outro estudante respondeu ter entendido, porém não sabe para que serve (classificado como sim, contribuiu para o entendimento) e outro estudante respondeu ter entendido a teoria, porém não entendeu a prática (classificado como não contribuiu para o entendimento). Nove estudantes responderam que não, pois não entenderam o conceito de refração ao longo das aulas e, por fim, 9 não responderam. Alguns alunos responderam ter entendido, porém referiram-se à refração negativa e não a refração de um modo geral.

Tabela 7.3 – Valor absoluto de resposta da questão 2		
Sim	Não	S/ Resp.
11	9	9

Referente à questão 3

Após a aula sobre refração negativa, se você visse em uma revista, jornal, TV ou internet, uma matéria que falasse sobre refração negativa ou outro tema da física contemporânea, você se interessaria pela notícia? E antes dessa aula?

Dos 29 estudantes, 13 responderam que somente depois da aula ficaram

interessados em ler notícias ou documentários sobre refração negativa ou outro tema da física contemporânea. Oito responderam que mesmo antes da aula já tinham interesse em tais assuntos e 4 alunos responderam que, mesmo depois da aula, não teriam interesse em ler ou assistir algo que abordasse esses assuntos. Dois alunos responderam que teriam interesse no assunto, uma vez que tiveram aula que discutiu um conceito da física contemporânea, porém não sabem dizer se antes da aula teriam algum interesse e 4 alunos não souberam responder.

Tabela 7.4 – Valor absoluto de resposta da questão 3				
Interesse pela ciência		Sem interesse pela ciência		
Antes da aula	Depois da aula	Antes da aula	Depois da aula	S/ Resp.
8	21	17	4	4

Referente à questão 4

Sabendo que o conceito de refração negativa não é tão explorado nos vestibulares, você seria a favor de descartá-lo das aulas de física, para dar mais ênfase naqueles conceitos que são exigidos nos vestibulares? Por quê?

Dos 29 estudantes, 21 responderam que o conceito de refração negativa não deveria ser descartado, porém alguns alunos desse grupo consideram que o ensino médio deva oferecer um preparo para o vestibular. Seis alunos responderam que sim, o conceito deveria ser descartado em prol dos vestibulares e 2 alunos não souberam responder.

Tabela 7.5 – Valor absoluto de resposta da questão 4		
Não	Sim	S/ Resp.
21	6	2

Referente à questão 5

Sendo a refração negativa um conceito ligado às novas tecnologias (física

contemporânea), você é a favor que as aulas de física tenham mais enfoque na física contemporânea? Justifique a sua resposta.

Dos 29 estudantes, 24 responderam que são a favor de que as aulas de física tenham um enfoque maior na física contemporânea, pois este conteúdo está ligado às novas tecnologias e, portanto, é a ciência que se estuda hoje. Um estudante apenas respondeu que não é a favor que as aulas de física tenham um enfoque maior na física contemporânea, pois o mesmo tem preferência por física moderna e 4 estudantes não souberam responder.

Tabela 7.6 – Valor absoluto de resposta da questão 5		
Sim	Não	S/ Resp.
24	1	4

Por meio dos resultados quantitativos, apurados no questionário, observamos um número pequeno de alunos que acreditam terem aprendido melhor o conceito de refração, após a inserção do conceito de refração negativa, contrariando os resultados obtidos pelo método Student.

No entanto, o resultado encontrado com o método Student nos diz que a inserção do conceito de refração negativa contribui para o aprendizado do aluno, levando-nos, assim, a refletir sobre a diferença dos resultados obtidos – pelo método Student e pela opinião dos alunos. Uma das possíveis justificativas para tal divergência, que consideramos a mais plausível, seria a dificuldade do aluno em se auto avaliar.

É importante esclarecer ao leitor que não é o objetivo principal desta dissertação fazer uma avaliação do método Student, até porque não pretendemos apenas apresentar uma resposta sobre a questão de nossa pesquisa, mas também, apresentar o quanto foi aprendido com essa pesquisa, a respeito do aprendizado dos alunos, com a inserção de elementos da Física Contemporânea.

7.2 Análise Qualitativa – Turma A

Com base nas respostas dos alunos, sobre o questionário que foi aplicado, fizemos uma categorização agrupando-as em três dimensões: interesse – se foi despertado algum interesse e qual o tipo de interesse; aprendizagem – se houve algum aprendizado; pragmática/utilitária – se foi observado, pelos alunos,

uma aplicabilidade no conhecimento aprendido.

Com isso, buscamos, por meio das diversas respostas obtidas às diferentes questões do questionário, procuramos entender o que foi promovido, na visão dos alunos, através da sequência didática. Para cada dimensão foram elaboradas algumas categorias e sobre cada categoria apresentamos exemplos que salientam nossas conclusões parciais a respeito das respostas dos alunos.

7.2.1 Dimensão: Interesse

Analisando as respostas dos alunos foi possível concluir que as aulas sobre refração negativa despertaram interesse em diversos alunos. Esses interesses foram agrupados em cinco categorias: interesse pela ciência – alguns alunos se sentiram motivados em saber mais sobre assuntos da ciência; interesse na novidade do tema – devido ao fato de estar ligado as pesquisas atuais; interesse na utilidade – embora não tenha uma aplicabilidade ainda, os alunos gostaram de discutir as possíveis aplicações para este fenômeno; interesse a partir da aula – alguns alunos passaram a ter um interesse maior pela ciência, como também em saber mais a respeito do conceito ensinado; não houve interesse – alguns alunos não se interessaram, nem pelas aulas, nem pelo conceito em si. Sobre esta última categoria, nas respostas dos alunos, diversas causas apontadas pelos próprios alunos como sendo: complexidade do assunto, a falta de importância nesse aprendizado, a falta de afinidade com as ciências exatas, entre outros. Apresentamos, nas próximas linhas, alguns exemplos tirados das respostas dos alunos relacionados a cada categoria:

Interesse pela ciência

Com base na sequência didática ministrada, foi identificado que as aulas proporcionaram, para alguns alunos, interesse pela ciência, além de despertar a curiosidade pelo fenômeno em si. Também foi observado um interesse maior, em alguns alunos, devido o apreço natural pela ciência:

“A aula de refração negativa me ajudou a gostar de ciência”.

“(...) o assunto em si é curioso”.

“(...) prestaria o máximo de atenção possível. Antes da aula também porque gosto desse tipo de coisa”.

Com base nos trechos tirados, das respostas de alguns alunos, observamos que a sequência didática despertou um interesse pela ciência, podendo, este assunto de Física Contemporânea, contribuir não apenas no interesse dos alunos pela ciência, como também para o seu aprendizado.

Também é observado que alguns alunos já têm um certo interesse pela ciência, o que nos evidencia a importância em dar a esse aluno subsídios, de forma que esse interesse seja mantido vivo, e cada vez mais fortalecido, e não enfraquecido, como, às vezes, acontece no processo de escolarização, pois como já mencionado nas justificativas de Ostermann e Moreira (2000, p. 24), para inserção de FMC no ensino – em nosso caso a Física Contemporânea: devemos aproximar os estudantes da física atual; aproveitar o entusiasmo de professores e alunos por temas atuais que estão ligados as novas tecnologias; atrair jovens para a carreira científica, pois serão eles os futuros pesquisadores e professores de física

Interesse na novidade do tema

Para alguns alunos, as aulas sobre refração negativa foram atrativas por apresentar algo novo, da atualidade, pois foi observado um interesse significativo pelas novas tecnologias:

“(...) aprender sobre coisas novas é sempre melhor”.

“(...) nós temos que estudar novas tecnologias, o que já foi descoberto já nos pertence”.

“(...) você vai aprender o que está acontecendo agora, “atualidade”, mas é bom aprender todas as “físicas”, mas foca no que está acontecendo agora”.

Podemos observar, sobre esses trechos, um forte interesse sobre as novas tecnologias, bem como as pesquisas atuais, nos mostrando novamente a importância na inserção de conteúdos de Física Contemporânea, promovendo assim, a aproximação dos estudantes da física atual, bem como aproveitar o entusiasmo de professores e alunos por temas atuais que estão ligados às novas tecnologias (Ostermann e Moreira 2000, p. 24).

Por fim, pelas falas apresentadas, podemos ter um indício de que o interesse dos alunos em estudar física está muito mais relacionado às novas tecnologias e às novas pesquisas, do que pela física em si, sendo, por tanto, importante que o professor, em sala de aula, traga além da Física Clássica e

Moderna, assuntos ligados à Física Contemporânea.

Interesse na utilidade

Pensando na importância da aplicabilidade sobre aquilo que está aprendendo, foi possível fazer uma relação com uma possível aplicabilidade do conceito no futuro, proporcionando aos alunos uma oportunidade de serem protagonistas dessa futura aplicabilidade:

“(...) Isso me fez questionar sobre as lentes de óculos, por exemplo. Mas o mais interessante foi a possibilidade de deixar algo invisível”.

“(...) podemos usar esses ensinamentos para mudar/inventar novas utilidades para essas novas tecnologias”.

“Me proporcionou interesse, pois é algo de gerações futuras. Ao conseguirem desvendar o que é, e como usá-lo o avanço tecnológico seria grande. Como o professor diz é apenas um recém-nascido e saber que pode ser eu que descubra para que é útil refração negativa é prazeroso”.

Sobre as falas dos alunos apresentadas, fica evidente o interesse deles em aprender sobre os avanços da ciência sobre a tecnologia e serem protagonistas desses avanços. Como já mencionado por Ostermann e Moreira (2000, p. 24), podemos proporcionar, através dessa Física ensinada, o interesse de jovens para a carreira científica, uma vez que eles poderão ser os futuros pesquisadores e professores de física.

Pensando também em uma educação problematizadora (Freire 2011), acreditamos que a sequência permitiu, de forma aventureira e com um pensamento crítico, ao aluno questionar sobre algumas das tecnologias atuais, desenvolvendo assim, um conhecimento novo e podendo, dessa forma, refletir com mais criticidade e autonomia sobre as tecnologias que o permeia. Da mesma forma, fazer um julgamento coerente sobre as inúmeras informações e notícias que são divulgadas, uma vez que líderes governamentais e instituições elitistas manipulam informações em busca de vantagens políticas e econômicas (HAWKRIDGE, *apud.* KILLNER, 2002).

Interesse gerado a partir da aula

Considerando que muitos alunos criam um preconceito com a física, por acharem muito complexo, foi possível romper com esse preconceito despertando

inclusive um interesse pela ciência, antes inexistente. Os trechos destacados referem-se a pergunta: Após a aula sobre refração negativa, se você visse em uma revista, jornal, TV ou internet, uma matéria que falasse sobre refração negativa ou outro tema da Física Contemporânea, você se interessaria pela notícia? E antes da aula?

“Não iria me interessar, mais depois da aula acho que sim, porque quando ouço algum tema que estou estudando fora da escola me interessa”.

“Se fosse um assunto que eu gostasse, eu me interessaria pelo assunto. Agora antes da aula não, pois não entender nada”.

“Eu só tive interesse por refração negativa após ter uma aula sobre a mesma. Antes disso eu jamais me interessaria a assistir ou ler algo sobre o assunto”.

As falas apresentadas podem nos dar uma ideia de que a divulgação científica em jornais, revistas, televisão e internet, podem ser tanto apreciados como desprezados pelos alunos, a depender do seu conhecimento sobre assuntos científicos e o quanto eles vão entender sobre uma determinada notícia divulgada, pois é observado, através das falas, que se o aluno não consegue compreender sobre um determinado assunto, divulgado pela mídia, pouca importância será dada para tal assunto.

Considerando que todo o cidadão tem o direito à informação e o conhecimento, a escola tem como dever, dar subsídios aos seus alunos para que eles tenham condições de interpretar qualquer assunto científico divulgado pela mídia, para que possam atuar com autonomia e criticidade na sociedade que estão inseridos. Por esta razão, trazer discussões sobre os avanços da ciência – Física Contemporânea – é fundamental para que os alunos possam acompanhar e refletirem de forma crítica, quanto o impacto desses avanços na sociedade.

Não houve interesse

Apesar da grande importância da física para a evolução da sociedade – especialmente na tecnologia –, alguns alunos não se interessaram pelo tema – refração negativa –, e ainda que possam ter reconhecido essa importância, negligenciaram-na. Acreditamos, sobre esta análise, que a dificuldade na compreensão do conceito foi a maior influência no desinteresse desses alunos:

“(...) a física em relação aos outros conteúdos é muito interessante, mais especificamente esse conteúdo eu não gostei”.

“Foi complicado de entender esse assunto, pois não gostei muito da matéria”.

“(...) não me interessei muito pelo assunto e não presti muita atenção nas aulas”.

Como observado, para alguns alunos, o conceito discutido não despertou interesse, o que não significa descartarmos a Física Contemporânea, pois também é mencionado, em uma das falas, que a física, em relação a outros conteúdos, é muito interessante. Por conseguinte, podemos pensar não apenas em apresentar uma física que desperte o interesse nos alunos, mesmo porque atender às expectativas individuais de todos os alunos não é possível (principalmente se observa nas escolas públicas turmas com 40 alunos), mas que também o faça conhecer a importância desta física na sociedade.

7.2.2 Dimensão: Aprendizagem

Sobre a aprendizagem dos alunos, a sequência didática nos levou a cinco categorias: dificuldade em entender o conceito – para alguns o assunto foi bastante complexo; relação com o conhecimento prévio – a sequência didática permitiu uma relação com o conhecimento prévio dos alunos; compreensão do fenômeno de refração – as aulas de refração negativa permitiram, para alguns alunos, compreenderem melhor o fenômeno de refração em si; falta de atenção/capacidade – devido a defasagem de aprendizado, bem como a dificuldade na área de exatas, muitos alunos não compreenderam o conceito de refração negativa; falta de interesse – em função da complexidade do assunto, para alguns alunos o assunto se tornou desinteressante.

Relações com conhecimentos prévios

As aulas de refração negativa foram ministradas com base nas aulas sobre refração convencional, para que tivessem um melhor entendimento sobre o que era refração negativa. Corroborando com o resultado quantitativo, a percepção dos alunos também foi de melhor entendimento sobre o conceito de refração convencional:

“Me ajudou a entender como certas coisas são feitas, e as que ainda podem

ser inventadas, utilizando esse tema da física”.

“Ajudou, pois não sabia nada”.

“(…) desvendou até dúvidas que eu tinha anteriores”.

Pensando no aprendizado em Física, o conceito de refração negativa se mostrou como um elemento auxiliar na compreensão do fenômeno de refração. Talvez possamos pensar na Física Contemporânea não apenas como a Física que nos explica as novas tecnologias e o que tem de mais novo na ciência, mas também como um suporte que ajude o aluno a compreender determinados conceitos da Física Clássica e da Física Moderna.

Compreensão do fenômeno de refração

Para alguns alunos a compreensão do conceito lhes permitiu fazer relação com fenômenos observados no cotidiano – mesmo não sendo a refração negativa, e sim, a refração convencional –, além de compreenderem o avanço desse fenômeno nas pesquisas científicas, e que podem proporcionar novas descobertas e novos avanços para a sociedade:

“(…) refração não é só em coisas de física mas sim no mundo inteiro, como acontece no Sol isso é refração”.

“(…) refração negativa antes desconhecida nada mais é do que um complemento da refração de um modo geral, nos proporcionando novas descobertas sobre este fenômeno”.

“(…) existem diversos tipos de refração e entender como um objeto pode refletir negativamente a luz ajuda de certa forma a entender como as outras funcionam”.

Podemos observar, sobre os trechos destacados, que o conceito de refração negativa promoveu aos alunos uma compreensão positiva, observando que a refração é um fenômeno presente na natureza – refração convencional –, correspondendo a um desvio na direção da luz. Já o fenômeno de refração negativa – complemento da refração de um modo geral – pode proporcionar novas descobertas para a ciência.

Nessa perspectiva, também podemos observar, através dos trechos destacados, a importância no ensino de Física Contemporânea, com base em algumas das justificativas apontadas por Ostermann e Moreira (2000, p. 24) para a promoção da FMC: possibilitar ao aluno localizar-se na escala temporal e espacial

da natureza; aproximar o estudante da física atual; despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles.

Dificuldade de entender o conceito

Com base em algumas repostas dos alunos, observamos que a dificuldade na compreensão sobre refração negativa teve como consequência um desinteresse pelo aprendizado. No entanto, embora não seja possível identificar com mais detalhes a respeito da dificuldade mencionada pelos alunos, acreditamos que ela está relacionada não ao conceito de refração negativa, e sim ao conceito de refração convencional, uma vez que os dois conceitos exigem a mesma aplicação matemática, diferenciando-se apenas na direção para a qual a luz é refratada. Ainda assim, foi possível fazer algumas reflexões sobre os trechos em destaque:

“(...) eu descartaria das aulas por não ser uma matéria muito fácil de entender”;

“Refração é um assunto muito complexo e a partir do momento que eu comecei a não entender parei de prestar atenção, por isso não entendi refração negativa”;

“(...) eu não entendi algumas coisas”.

Considerando que o fenômeno de refração – tanto negativa quanto convencional – foi explicado através dos princípios da óptica geométrica e da Lei de Snell-Descartes, a dificuldade na compreensão, registrada nos trechos em destaque, pode estar relacionada tanto no conceito do fenômeno quanto na parte matemática envolvida, o que nos aponta para uma necessidade de desenvolver melhor os chamados pré-requisitos para discussão de um novo conceito.

Na parte conceitual, o fenômeno de refração é entendido como um desvio sofrido pela luz ao incidir entre dois meios diferentes, provocado pela mudança na sua velocidade ao passar de um meio para outro. Embora a explicação pareça simples, muitos alunos têm dificuldade em compreender o fenômeno e abstraí-lo em uma situação prática de sua realidade.

Já na parte matemática, podemos calcular o ângulo de refração – bem como o ângulo de incidência –, a velocidade da luz sobre um determinado meio e o índice de refração de um determinado meio através da geometria, exigindo do aluno conhecimento em medidas de ângulos e cálculos de trigonometria, habilidades

provenientes das aulas de matemática. Nessa perspectiva, a pesquisa deixa em aberto duas indagações: como os conteúdos de matemática são compreendidos pelos alunos? Como os alunos usam um determinado conhecimento aprendido, como ferramenta para a compreensão de outro conhecimento?

Falta de atenção/capacidade

Foi observado que, para alguns alunos, o conceito de refração não foi compreendido, talvez não pelo conceito em si, mas pela dificuldade em compreender conceitos de física, em geral, pois é relatado através das falas, que o conceito é interessante e que a explicação do professor é boa, porém não conseguiram compreender:

“(...) algumas eu acabo esquecendo as vezes”.

“(...) apesar do professor ter explicado muito bem e várias vezes algumas coisas não entraram na minha cabeça”.

“(...) isso nunca entrou na minha mente, pois mas que acho interessante”.

Com base nas falas apresentadas, percebe-se, sobre esses alunos, alguma baixa autoestima, como se não fossem capazes de aprender esse conteúdo, ou qualquer outro conteúdo de física, pois explorando as falas apresentadas duas perguntas surgem como reflexão: Como a explicação do professor pode ter sido boa se o que foi explicado não foi compreendido? É possível achar um determinado assunto interessante sem conseguir entendê-lo?

Logo, as falas não dão indícios a essa possível baixa na autoestima desses alunos, que supostamente possa ter sido gerada, ou por alguma defasagem no aprendizado, ou pela própria física – mecanicista e com o status de conhecimento superior, como já mencionado no referencial teórico (cap. 6.4 Considerações sobre FMC na escola) –, gerando, como consequência, um certo preconceito dos alunos, que não acreditam serem capazes de aprender sobre física.

Falta de interesse

Através das respostas obtidas, entendemos que o desinteresse inicial pela física teve impacto direto no aprendizado do aluno sobre o conceito. Possivelmente, na medida em que o aluno não tem interesse pela física, ou por um conteúdo específico, mais difícil será o seu aprendizado:

“Não porque eu quase não entendi”.

“(...) eu não gosto/não entendo muito física/ciência”.

“(...) não tenho curiosidade sobre o assunto, apesar de ser algo bom e interessante de todos saber, não é algo que quero levar mais adiante”.

Considerando os trechos destacados, devemos refletir não apenas no desinteresse pelo conteúdo ensinado, como foi apresentado, mas também nos possíveis obstáculos, responsáveis pela dificuldade na compreensão.

É possível que o desinteresse do aluno, tanto pelo conteúdo abordado, quanto pela própria física – como foi mencionado em uma das falas – venha ser o maior obstáculo, porém também é possível considerarmos a defasagem do aprendizado do aluno, que ao iniciar o ensino médio não possui os pré-requisitos para a compreensão dos conceitos científicos que são discutidos nessa etapa da escolarização.

7.2.3 Dimensão: Pragmática/Utilitária

A sequência apresentada teve como um dos objetivos mostrar aos alunos a aplicabilidade do conceito de refração, tanto convencional quanto a refração negativa. Embora o professor tivesse intenções de mostrar a possível aplicabilidade tecnológica – manto da invisibilidade –, os alunos também observaram utilidades para aprendizagem desse conceito, que não devem ser ignoradas pois traduzem uma demanda dos estudantes.

Nesta dimensão a sequência nos levou a cinco categorias: vestibular/ENEM – alguns alunos consideraram o conceito ensinado como um bom preparo para o vestibular; tecnologia do dia-a-dia – para alguns alunos, o conceito permitiu-lhes refletir, tanto sobre as tecnologias atuais como sobre as futuras tecnologias; relevância social do tema – alguns alunos gostaram de aprender sobre refração negativa por julgarem ser um conceito de física importante a ser aprendido; não tem utilidade – alguns alunos não viram importância e nem utilidade no aprendizado sobre refração negativa.

Vestibular/ENEM

Algumas respostas apresentadas identificaram que, para alguns alunos a preparação para o vestibular ainda tem grande importância no ensino:

“(...) eu acho bom estudar física contemporânea pois esse tipo de matéria pode cair em vestibulares”.

“(...) é o assunto que mais iria ajudar os alunos a passar nas provas importantes”.

“(...) foi com ele que eu acertei uma questão do ENEM”.

Embora o ensino médio não seja preparatório para os vestibulares e processos seletivos de faculdades outros níveis de escolarização, não devemos negar ao aluno, uma vez que seja de seu interesse, subsídios para que ele possa se preparar para um vestibular, concurso público ou qualquer outro processo seletivo, porém o que a escola não deve fazer é colocar essa metodologia de ensino como objetivo principal. Logo, deve-se encontrar um equilíbrio entre uma formação crítica e autônoma e as habilidades mínimas exigidas nos vestibulares.

Tecnologia no dia-a-dia

Foram identificadas, por parte de alguns alunos, a importância em aprender tanto sobre as tecnologias atuais, como também sobre as futuras tecnologias:

“(...) nós precisamos estudar a tecnologia de agora, a tecnologia que vai ser estudada no futuro”.

“(...). Mesmo não sendo um assunto muito explorado, é interessante saber mais sobre refração negativa para, quem sabe, no futuro, um de nós descobrirmos para que ela pode ser usada em função da sociedade”.

“(...) é o que será explorado no futuro tem que ser mais visto para nos ajudar”.

Através das falas, os alunos ressaltam a importância no aprendizado desse conceito, por estar ligado as novas tecnologias, o que se relaciona, mais uma vez, com uma das justificativas de Ostermann e Moreira (2000, p. 24) para a promoção da FMC no ensino médio: aproximar os estudantes da física atual. Logo, observa-se um interesse de alguns alunos, devido à importância dada aos conceitos ligados às novas tecnologias.

Relevância social do tema

Entre as repostas do questionário, observamos uma importância, por parte dos alunos, em aprender sobre refração negativa independente de sua

aplicabilidade, pois acreditam ser um tema cujo seu conhecimento seja importante para a sociedade:

“(...) é um conteúdo que deve ser estudado, pela importância que ele pode ter na sociedade”.

“(...) na minha opinião os conceitos estudados em aula vão muito além de um bom resultado no vestibular, esses conceitos como a refração negativa são assuntos a serem estudados, ensinados e compreendido por todos”.

“(...) física contemporânea é impor”.

Assim como as justificativas de Ostermann e Moreira (2000, p. 24), observada em diversas categorias, também se observa a importância, no julgamento de alguns alunos, na criticidade e autonomia, mencionada por Freire (2011), uma vez que os alunos acreditam que o fenômeno de refração negativa, bem como a Física Contemporânea, pode ter importância na sociedade, além de promover um ensino de física que vai muito além de um ensino preparatório para os vestibulares.

Não tem utilidade

Para alguns alunos, aprender sobre refração negativa não foi significativo, alegando não ser algo importante para o futuro de sua vida, ou por dar maior preferência aos conteúdos preparatórios para os vestibulares.

“(...) especificamente esse conteúdo eu não vou levar para minha vida”.

“(...) eu acho que devíamos estudar mais sobre temas de vestibulares para sermos preparados lá fora”.

“(...) por mais que seja um assunto bom não ia querer, ia dar preferência ao assunto do vestibular”.

Sobre os trechos destacados, nos chamam atenção, não apenas pela não utilidade no aprendizado, mas também pela preferência nos conteúdos de vestibulares, como se o ensino médio fosse exclusivamente preparatório para os vestibulares.

Seja pela influência da mídia, em divulgar escolas particulares cujo alguns de seus alunos se destacaram nos maiores vestibulares, ou pela influência dos pais em orientarem seus filhos a darem seguimento na sua escolarização, muitos alunos acreditam que devam focar seu aprendizado, no ensino médio, como uma preparação para os processos seletivos das faculdades e outros concursos.

No entanto, como já mencionado nessa dissertação, Terrazzan (1992), bem como o PCN+, nos diz que, dentre os alunos da rede pública, poucos ingressam na faculdade, e desses, uma quantidade ainda menor escolhe as áreas das ciências exatas (e um número ainda menor será os daqueles que escolhem a Física) o que faz da física ensinada no ensino médio o único contato formal em sua escolarização.

Por essa razão, faz-se necessário, não apenas trazer elementos da Física Contemporânea, como também em insistir nos conteúdos ligados às novas tecnologias, para que possamos quebrar com esse paradigma, reforçado por muitos alunos, pais e instituições de ensino, já que o ensino médio não é um curso preparatório para vestibular, mas sim, um curso preparatório para a vida do aluno. Da mesma forma que a faculdade, ou qualquer escolarização posterior à educação básica, também não é uma obrigatoriedade, mas uma opção do aluno, em dar, ou não, continuidade aos estudos.

Por fim, com base nas respostas dos alunos, sobre o questionário aplicado, observamos que a sequência didática sobre refração negativa levantou diversas motivações quanto ao ensino de Física Contemporânea, podendo ser mais bem explorado sobre alguns aspectos – interesse dos alunos – e repensado em outros – aprendizado dos alunos.

Apresentaremos agora um levantamento geral das três dimensões, a fim de apurarmos o impacto da sequência aplicada. No gráfico 7.2, apresentamos o número de respostas sobre as três dimensões discutidas:

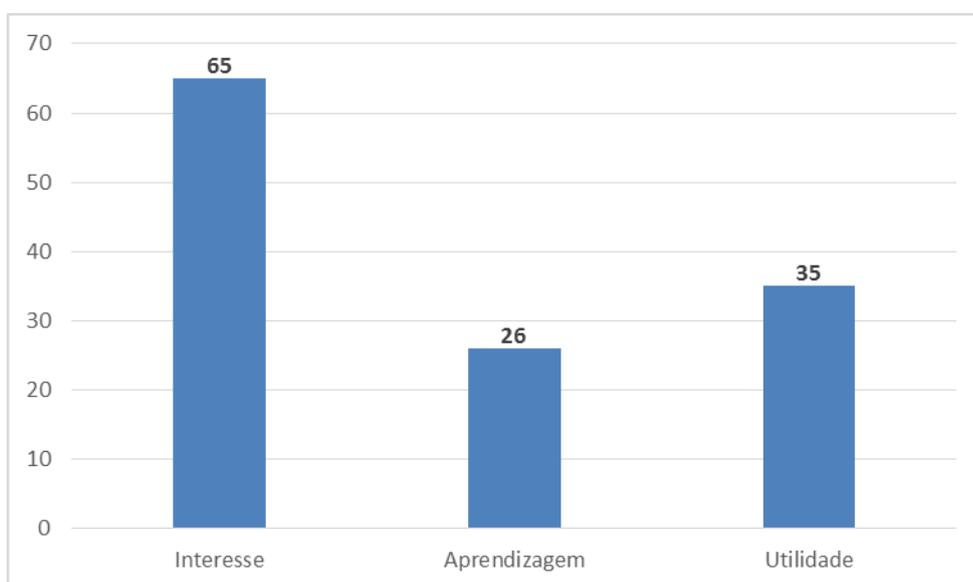


Gráfico 7.2: Número absoluto de respostas caracterizadas em cada dimensão

Observamos no gráfico 7.2 que a maioria das respostas dos alunos foram caracterizadas dentro da dimensão interesse, seguidas pela dimensão utilidade do assunto estudado, e com o menor número de respostas caracterizado na dimensão aprendizagem.

Com isso, podemos concluir que, com base nas respostas dos alunos, que a sequência didática promoveu muito mais o interesse do que a aprendizagem, podendo ser este, um motivador na inserção da Física Contemporânea, e através do feedback dos alunos, o professor possa aprimorar sua sequência didática, para que consiga elevar o aprendizado para o mesmo nível do interesse apresentado pelos alunos

A fim de apurarmos melhor os números apresentados no gráfico 7.2, foi feito um levantamento sobre cada dimensão, e assim apresentamos, inicialmente no gráfico 7.3, o número de respostas sobre as categorias relacionadas a dimensão da aprendizagem. O leitor poderá, sobre este gráfico, fazer uma relação com o gráfico 7.2 e compreender o porquê do menor número de respostas para a dimensão da aprendizagem.

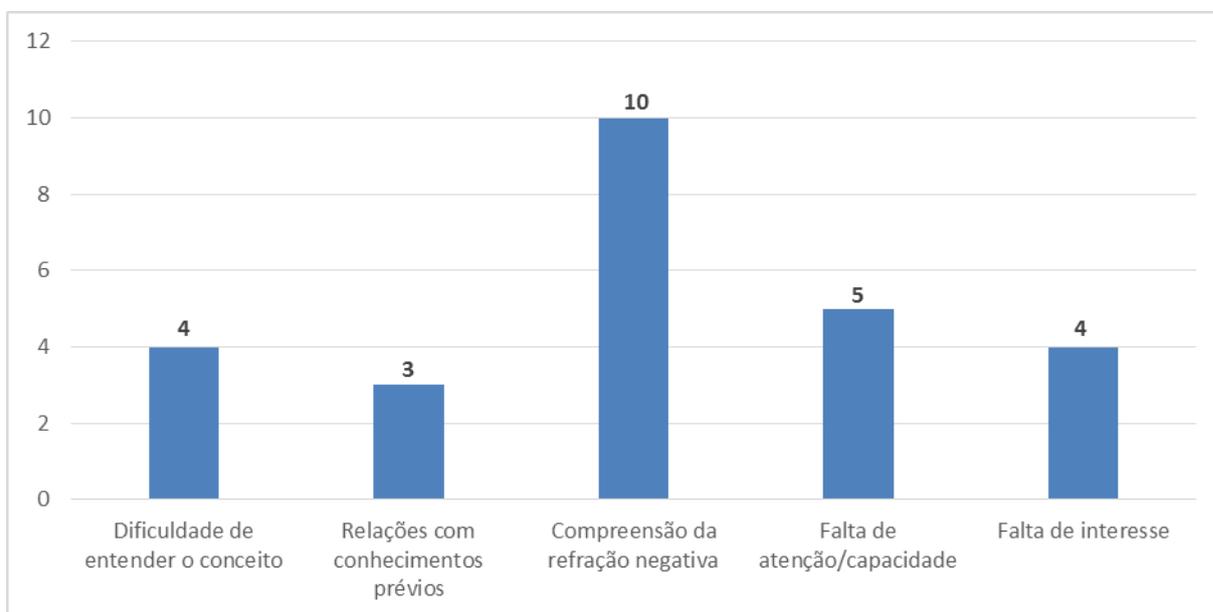


Gráfico 7.3: Número absoluto de respostas caracterizadas na dimensão aprendizagem

Pelo gráfico 7.3 podemos observar que, embora o maior número de respostas seja referente a compreensão da refração negativa, são apresentadas também respostas referentes à dificuldade de entender o conceito – falta de atenção e falta de interesse –, cujo número de respostas somadas superam o número de repostas voltadas para a compreensão da refração negativa.

Sobre este cenário, entendemos que os desafios para a inserção da Física Contemporânea – assim como a FMC – vão muito além daqueles já mencionados no início dessa dissertação, pois o professor, em sala de aula, também pode ter como desafio, obstáculos apresentados pelos próprios alunos. Apresentamos na dimensão aprendizagem, alguns desses obstáculos – defasagem no conhecimento; baixa na autoestima, entre outros – que possivelmente pode contribuir para a não compreensão do conteúdo ensinado e assim ser mais um desafio para o professor em sala de aula.

Sendo assim, entendemos que no processo de ensino e aprendizagem, é importante que seja refletido não apenas sobre a complexidade do conteúdo a ser discutido, mas também sobre o perfil do aluno, presente na sala de aula.

Na sequência apresentamos os números de respostas para a dimensão interesse, observando uma distribuição equilibrada para os diversos tipos de interesses encontrados nas respostas dos alunos.

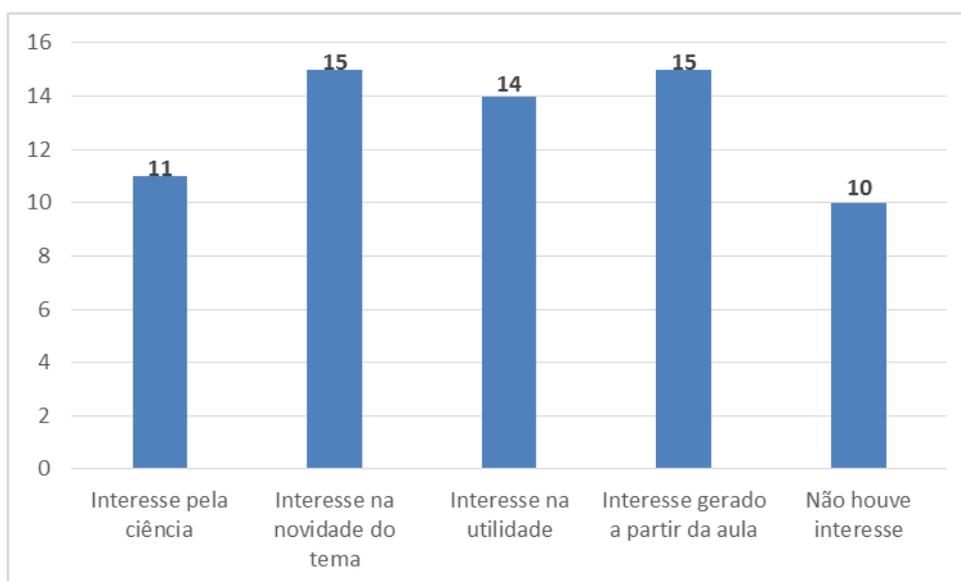


Gráfico 7.4: Número absoluto de respostas caracterizadas na dimensão interesse

Pelos resultados mostrados no gráfico 7.4, fica incontestável que a sequência aplicada despertou interesse na maioria dos alunos – com exceção de uma pequena parte. Com isso, acreditamos que através da inserção de conteúdos de Física Contemporânea seja possível quebrar com alguns preconceitos a respeito da física em geral, uma vez que se observa, através do gráfico, uma quantidade significativa de respostas para os diversos interesses gerados a partir da sequência aplicada.

Apresentamos agora o gráfico 7.5, referente às respostas caracterizadas na dimensão pragmática/utilitária, com destaque para a categoria sobre a importância do tema para a aprendizagem, seguida da categoria referente as tecnologias do dia-a-dia.

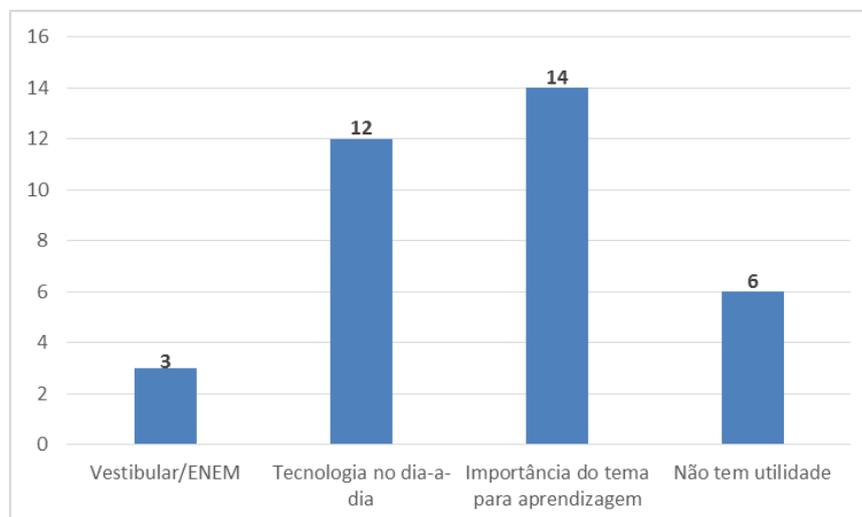


Gráfico 7.5: Número absoluto de respostas caracterizadas na dimensão pragmática/utilitária

Assim como no gráfico 7.4, observamos no gráfico 7.5 que, para a maioria dos alunos, o aprendizado sobre o conceito ensinado tem alguma aplicabilidade, justificando a sua importância no ensino de física, principalmente no que se refere à importância do aprendizado em si, como também referente as tecnologias atuais.

Relacionando as ideias de Freire (2011), já mencionadas nessa dissertação, com o resultado obtido no gráfico 7.5, os alunos apresentam uma autonomia e criticidade com relação aos temas que devem priorizados na sua formação básica.

Por fim, analisando os quatro gráficos sobre as respostas dos alunos, entendemos que a dificuldade no aprendizado sobre a sequência aplicada, pode estar relacionada a muitas questões de caráter mais pessoal – como defasagem no aprendizado, dificuldade em fazer relação de um conceito aprendido com o conceito ensinado, baixa na autoestima dos alunos, entre outros – do que a dificuldade inerente ao tema, relacionada com a sua complexidade. Porém, podemos afirmar que, mesmo considerando toda a dificuldade no aprendizado, a mediação do professor pode fazer com que os alunos venham a despertar algum interesse por temas atuais e ligados as novas tecnologias.

8 CONCLUSÃO

Apresentamos neste trabalho inúmeras razões para inserção da Física Contemporânea, no ensino médio, baseado nos vários autores que, em função da revolução tecnologia vivenciada atualmente, ressaltam a importância de trazer, para a sala de aula, um ensino de física que acompanhe os avanços dessa revolução, permitindo ao aluno refletir sobre essas tecnologias, para que possa contribuir de maneira mais crítica e autônoma na sociedade em que está inserido.

Na tentativa de inovar o ensino de física, exploramos o conceito de óptica, da Física Clássica, inserindo elementos da Física Contemporânea, pois acreditamos ser esta a física que está mais próxima das novas e das futuras tecnologias, e que permite ao aluno refletir sobre a maneira como a ciência influencia nesse desenvolvimento, entendendo que alguns fenômenos não naturais, presentes em alguns filmes de ficção – como, por exemplo, o manto de invisibilidade no filme Harry Potter –, já é algo possível, ao menos teoricamente, através de estudos recentes da Física Contemporânea.

Sobre os diversos assuntos relacionados à Física Contemporânea, optamos pelo conceito de luz, por ser um dos conceitos mais presentes na tecnologia moderna (comunicação por fibras óticas, televisores e telas de LCD e plasma e sensores de presença, cirurgias a laser, entre outros), justificando a importância em aprimorar esse conceito, tanto na perspectiva da Física Clássica, quanto da FMC. Logo, buscamos através da Óptica Geométrica, trabalhar um conceito da Física Contemporânea – a refração negativa –, no ensino médio, proporcionando um olhar que mistura a Física Clássica com a Física Contemporânea.

Sobre as justificativas que foram mencionadas, o trabalho teve como objetivo investigar se a inserção de elementos da Física Contemporânea podem influenciar o aprendizado do aluno sobre um determinado conceito, e assim, através da pesquisa realizada, apresentamos uma sequência didática que permite ao professor, através da Física Contemporânea, explorar o ensino de determinados conceitos da Física Clássica, isto é, usando a Física Contemporânea como elemento inovador para o ensino de Física Clássica, de forma acessível ao professor e de fácil compreensão para os alunos, para assim promover discussões sobre as novas e futuras tecnologias.

Com a intenção de promover a inserção da Física Contemporânea no ensino médio, tínhamos uma pergunta a ser respondida: trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino médio, pode influenciar no aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito? Sobre esta pergunta, duas hipóteses foram fundamentadas: 1) trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino médio, **não influencia** o aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito. 2) trazer elementos da Física Contemporânea para o ensino médio, **influencia** o aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito.

A escolha pelo conceito de refração negativa deu-se por ser um dos fenômenos que, além da sua ascensão nas pesquisas científicas, está relacionado com o comportamento da luz, e seu conceito também está entre os principais no mundo moderno, além de não ter ainda uma aplicação concreta na sociedade atual – apesar de algumas possibilidades existentes. Com isso, poderíamos mostrar aos alunos que a física, apesar de todos os seus avanços, ainda permanece inacabada, dando a possibilidade deles – e das suas gerações – dar continuidade ao desenvolvimento desta ciência.

Estabelecido qual era o objetivo do nosso trabalho, realizamos um estudo quanto aos conteúdos de FMC acessíveis para o professor de física do ensino médio. Embora nossa pesquisa estivesse voltada para a Física Contemporânea, não tínhamos materiais de pesquisa que traziam esse aspecto da física de maneira isolada, levando-nos a buscar os materiais que abordavam a FMC.

Para nos ajudar neste estudo, contamos com as colaborações dos trabalhos de Valente (2009 e 2015), cuja revisão nos livros didáticos, trabalhos apresentados nos EPEFs, Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado que, embora não apresentassem nenhum material sobre o conceito contemporâneo de luz no ensino, permitiu-nos observar uma preocupação com o ensino da FMC, bem como a ausência ou precariedade no ensino médio.

Para aprofundar essa análise, fizemos uma revisão nos anais dos SNEFs – evento que é voltado para o professor de física da educação básica, oferecendo tanto cursos e oficinais, como materiais de referência, com propostas de atividades e sequência didáticas a serem aplicadas em sala de aula. Nesta revisão, priorizamos os trabalhos que traziam alguma proposta de atividade ou sequência didática sobre o conceito de luz.

Ao final da revisão, os resultados mostraram-nos que o conceito de luz,

seja no modelo clássico, moderno ou contemporâneo, ainda é pouco explorado no ensino de física, tendo o professor que buscar repertório em outros eventos ou outras fontes de pesquisa – como por exemplo, o Caderno Brasileiro de Ensino de Física e a Revista Brasileira de Ensino de Física, entre outros. Com isso, foi concluído que elaborar uma atividade envolvendo o conceito de luz, sob o aspecto contemporâneo, ainda é um desafio para muitos professores da educação básica, por algumas razões que também foram levantadas: complexidade do tema, insegurança do professor e a falta de recursos tecnológicos.

Dando continuidade na pesquisa, traçamos uma metodologia com referência às ideias de Mayring (2002) sobre nosso papel como pesquisador dentro de uma pesquisa-ação, como um professor-pesquisador promovendo a inserção da Física Contemporânea, frente a um problema social e concreto – ausência da Física Contemporânea no ensino médio e outras questões relacionadas com ensino de Física, de maneira geral, como, por exemplo, um desinteresse dos alunos pelos temas de Física.

Para apurarmos quais das hipóteses satisfaziam a nossa pergunta, fizemos um comparativo com duas turmas do segundo ano do ensino médio de uma escola pública do Estado de São Paulo. Numa delas (turma A) discutimos o conceito de refração da luz, com abordagem da Física Contemporânea – refração negativa – e na outra (turma B), discutimos o conceito de refração da luz, sem abordagem da Física Contemporânea. Observamos nesse processo o aprendizado das duas turmas, bem como o interesse da turma A com relação às aulas sobre a refração negativa, ligadas à Física Contemporânea.

Os instrumentos de coleta, que nos forneceram os dados desta pesquisa, foi a resolução de uma lista de exercícios, com a qual fizemos uma análise comparativa e quantitativa, coletadas das duas turmas e um questionário, aplicado e coletado apenas com a turma em que fizemos a discussão sobre a Física Contemporânea, e com o qual fizemos uma análise qualitativa.

Para a análise quantitativa dos dados, utilizamos o Método Student, que permite fazer comparação de duas amostras independentes, e que nos deu um resultado, sobre a lista de exercícios aplicados, quanto ao rendimento das duas turmas. O resultado se mostrou favorável para a inserção de elementos da física Contemporânea sobre o conceito de refração.

Através da análise textual discursiva de Moraes (2007), que propõe uma

metodologia de análise qualitativa, criamos categorias embasadas nas respostas dos alunos sobre o questionário aplicado. O autor define estas categorias como sendo categorias emergentes, uma vez que foram criadas a partir dos dados. Aprofundando nossas análises, sobre os dados qualitativos, através das categorias emergentes, levantamos questões pontuais, tanto sobre os aspectos positivos quanto os aspectos negativos, sobre a aplicação da sequência na visão dos estudantes, e, com isso, pudemos obter diversas evidências para a inserção de conteúdos de Física Contemporânea. Essa mesma análise também nos permitiu constatar a dificuldade no aprendizado do conceito sob vários aspectos, como a falta de interesse, a falta de pré-requisitos e a dificuldade com as ciências exatas.

Por fim, com base na pesquisa realizada, através da sequência didática, aplicada com as duas turmas do segundo ano do ensino médio, entendemos que a inserção de elementos da Física Contemporânea no ensino médio influencia significativamente o aprendizado do aluno, sobre um determinado conceito, e, para essa intervenção pontual que realizamos, isto pode ser percebido pelo melhor desempenho na avaliação aplicada – lista de exercícios – e o interesse demonstrado pelas respostas ao questionário. O teste de hipótese t-Student mostrou que a média da turma na qual foi inserido o conceito de refração negativa, foi significativamente melhor do que a outra turma, o que nos leva a concluir que trabalhar com este conceito contribui para o aprendizado do aluno.

Nas respostas ao questionário, pudemos observar que as aulas de refração negativa despertaram interesse em boa parte dos alunos, tanto pela novidade do tema, como pela ciência, de modo geral, e, para alguns alunos, o conceito de refração negativa ajudou a entender melhor o conceito de refração, como um todo. Também foi observado, pelas respostas dos alunos, que a aplicação do fenômeno de refração negativa, tem grande importância para a sociedade e para as gerações futuras.

Também, entendemos que a dificuldade no aprendizado deve ser observada não apenas na complexidade do conteúdo a ser ensinado, mas também sob outras dimensões, como defasagem no aprendizado, dificuldade em fazer relação entre conceitos – principalmente àqueles aprendidos em disciplinas diferentes –, baixa autoestima dos alunos, entre outros.

Através da pesquisa, podemos afirmar que os alunos têm interesse por temas atuais e ligados às novas tecnologias, e que agregar à Física Clássica à

Física Contemporânea é uma possibilidade, além da possibilidade de, através da Física Contemporânea, promover discussões de outras naturezas ligadas à relação da ciência com a tecnologia e a sociedade, por exemplo.

A pesquisa também nos levou a supor que o aprendizado dos alunos, sobre determinado conteúdo, depende dos seguintes fatores: clareza quanto a abordagem do conteúdo a ser ensinado, através de uma linguagem mais acessível; condições de aprendizagem; conhecimento adquirido antes de chegar no ensino médio; relação construída com a ciência durante sua vida escolar – muitos alunos se julgam incapazes de aprender ciência.

Por fim, acreditamos que esta pesquisa teve como resultado, além de uma possibilidade quanto à inserção de elementos da Física Contemporânea, a elaboração de um produto que permite ao professor, ampliar o seu repertório de ensino, mesmo que ele ainda tenha como preferência um ensino mais tradicional, isto é, voltado para o vestibular. Também ficou claro que é possível fazer uma mediação entre o conhecimento já adquirido, ao longo da vida dos sujeitos, e o novo conhecimento a ser ensinado na escola, que promove a ampliação da ZDP do aluno.

9 PRODUTO FINAL

Neste capítulo apresentamos ao leitor o produto gerado através da pesquisa realizada. Trata-se de uma sequência didática sobre refração, com a inserção de elementos da física contemporânea – refração negativa. Esperamos que essa sequência didática seja um passo no sentido de promover um ensino mais inovador, colaborando especialmente com o professor de física, na medida em que pretende oferecer a oportunidade de promover, em sala de aula, discussões a respeito de uma física mais atual, que desperta maior interesse e entusiasmo por parte dos alunos sobre o conceito de óptica.

9.1 Introdução

Atualmente, a Física Contemporânea é a física que dá suporte aos avanços tecnológicos, pois trata-se da ciência que se estuda e se desenvolve atualmente, nas universidades, empresas e institutos de pesquisa, públicos e privados. Com isso, acreditamos que a Física Contemporânea, por estar em desenvolvimento, pode proporcionar aos alunos um entusiasmo ainda maior, devido ao fato de não ser algo pronto, já concluído, mas algo que poderia fazê-lo pensar, projetar e refletir – indo além da imaginação – sobre diversos caminhos, aplicações e possibilidades que esta ciência pode nos proporcionar.

Seguindo os PCN+, e levando em consideração a realidade dos alunos, bem como a revolução tecnológica que vivemos nos dias de hoje, observa-se que a Física Clássica, mesmo tendo a sua importância no ensino, não dá conta de explicar algumas tecnologias, principalmente as futuras tecnologias, o que tornaria fundamental a inserção da Contemporânea no ensino médio. Como podemos ler nos PCN+:

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos (BRASIL, 2002, p. 59).

Dessa forma, o ensino de física deve proporcionar ao aluno, uma apropriação do conhecimento, para uso não apenas em seu cotidiano, fazendo uma compreensão do mundo no qual está inserido, mas que também lhe permita compreender as novas tecnologias que o permeiam, bem como refletir sobre as

futuras tecnologias, que mesmo não estando em seu cotidiano, já faz parte da realidade atual, podendo assim construir um pensamento crítico e autônomo, capaz de interferir e contribuir na sociedade a qual faz parte.

Entre os diversos assuntos relacionados à Física Contemporânea, o conceito de luz é um dos mais presentes (comunicação por fibras óticas, televisores, telas de LCD e plasma, sensores de presença, cirurgias a laser entre outros), o que evidencia a importância de aprimorar este conceito, tanto na perspectiva da Física Clássica, como também na perspectiva da Física Contemporânea. No entanto, o conceito de luz, como grande parte dos conceitos de física, é tratado nas escolas de forma abstrata e descritiva – medida de ângulos, memorização de conceitos e fórmulas e princípios de trigonometria (GIRCOREANO, 2001), voltado bem mais para física clássica, e não abordando os conceitos pelo viés da FMC.

Pensando no ensino de óptica através da Física Contemporânea, Santos (2011) menciona que a óptica geométrica deveria ter posição de destaque nos cursos introdutórios de física no ensino médio, pois segundo ele, os princípios da óptica geométrica possibilitam compreender diversos fenômenos naturais, além de outras inúmeras aplicações, o que proporcionaria aos estudantes perceber, de maneira fácil, como os modelos abstratos da matemática são aplicados a descrições de sistemas reais. Porém, o autor também traz um dos motivos pelo qual ele acredita contribuir para a desvalorização do conceito na escola: a falsa ideia de que os princípios da óptica seriam uma área científica esgotada.

Para se contrapor a isso, Santos (2011) destaca os avanços nessa área no século XX, citando como exemplo os raios laser e a óptica quântica, os quais não chegam à sala de aula devido a sua difícil compreensão conceitual. Além desses, também são citados avanços mais recentes e importantes, como os metamateriais com índice de refração negativa. O autor propõe a inserção desse e outros temas, de maneira acessível para o professor de física no ensino médio.

Pensando na importância da tecnologia na sociedade e na necessidade de discuti-la no ensino através da Física Contemporânea, bem como nas condições de ensino das escolas nos dias atuais, propomos trazer neste trabalho uma sequência didática com a inserção de elementos de Física Contemporânea.

Neste trabalho, optou-se pelo campo conceitual de óptica, no qual será destacado o conceito de refração negativa através da óptica geométrica, pois acreditamos que sobre este conceito o professor poderá, através da Física Clássica,

trabalhar com ideias da Física Contemporânea, com uma metodologia acessível às condições de ensino presentes nas escolas, além de trazer para sala de aula discussões sobre novas e futuras tecnologias.

9.2 Refração Negativa

Entende-se sobre refração, um fenômeno ligado ao comportamento da luz quando passa de um meio para outro, onde a luz sofre um desvio em sua trajetória, devido a variação de sua velocidade ao passar de um meio para outro. Essa mudança de velocidade é explicada em razão das diferenças entre as estruturas atômicas de cada meio, oferecendo maior ou menor resistência na passagem da luz, podendo então, provocar na luz uma redução ou um aumento sua velocidade.

A velocidade da luz no meio dependerá da densidade do material, ou seja, quanto mais denso for o material, menor será a velocidade de propagação da luz em seu interior, da mesma forma quanto menor for a densidade do material, maior será a velocidade de propagação da luz no seu interior. Logo, dizemos que cada material possui um índice (n) de refração da luz, que é determinado pela razão entre a velocidade da luz (c) no vácuo e a velocidade da luz (v) no novo meio:

$$n = \frac{c}{v}$$

A refração negativa é um fenômeno que, ao contrário da refração convencional, não é observado na natureza, e sim criado em laboratório, através dos metamateriais, materiais compostos por estruturas artificiais, formadas pelo arranjo regular de minúsculos circuitos elétricos, que podem ser projetados para terem uma propriedade eletromagnética desejada, desempenhando assim, o papel das “moléculas” do material de refração negativa.

A diferença no comportamento da luz, entre a refração convencional e a refração negativado pode ser observada na figura abaixo:

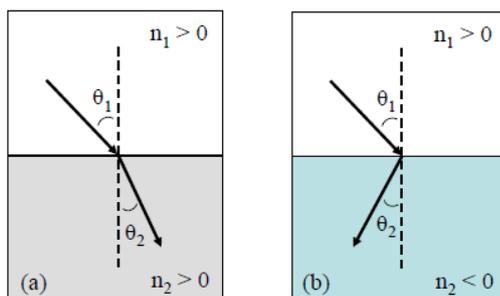


Figura 9.1: (a) Refração convencional. (b) Refração negativa

Fonte: Santos, W. (2011)

Conforme observado na figura (b), a luz sofre um desvio como se fosse refletido de volta, porém mesmo para este comportamento da luz a lei de Snell – que explica o índice de refração dos meios – também é válida para este comportamento, com a diferença de que o índice de refração, bem como o ângulo refratado terão valores negativos. Veja na figura abaixo uma imagem fictícia de uma caneta mergulhada em um copo, cujo líquido dentro do copo proporcionaria o fenômeno de refração negativa (à direita) frente ao fenômeno de refração convencional (à esquerda).

Sobre refração negativa, encontramos no trabalho de Santos (2011) alguns avanços com a criação desse fenômeno através dos metamateriais, como a possibilidade já existente de manipular a refração negativa de forma a controlar os desvios sofridos pela luz. Com uma combinação de metamateriais, com índices de refração positivos e negativos, pode-se criar um sistema de camuflagem, podendo fazer com que um determinado objeto fique invisível aos olhos de um observador, seria uma espécie de “manto da invisibilidade”. Nesse sistema de camuflagem a luz contornaria um determinado objeto ao invés de refletir, e com isso a luz não sofreria reflexão deste objeto ficando assim invisível ou transparente.

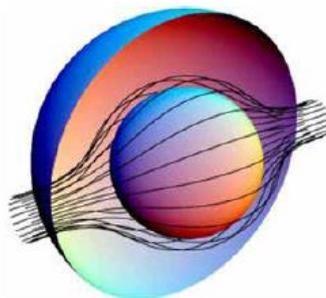


Figura 9.2: *Modelo do comportamento da luz no fenômeno de refração negativa*

Fonte: Santos, W. (2011)

Na figura acima, os metamateriais da esfera atuam de diversas formas, fazendo com que as ondas eletromagnéticas contornem a esfera, ao invés de refletir ou refratar. Logo, para um observador a esfera se torna invisível, pois não há o fenômeno da reflexão das ondas eletromagnéticas sobre a esfera chegando a seus olhos para que este possa vê-la. A imagem abaixo nos dá uma ideia da aplicabilidade através do fenômeno de refração negativa.



Figura 9.3: *Manto da invisibilidade – Uma das possíveis aplicações do fenômeno de refração negativa.*

Fonte: <http://www2.joinville.udesc.br/~i9/2014/07/02/o-que-e-um-metamaterial/>

9.3 Sequência didática

Tema: Refração – convencional e negativa.

Público alvo: 2ª série do ensino médio.

Pré-requisitos: conhecimentos sobre os fenômenos ondulatórios, luminosos e espelho plano.

Material: giz, lousa.

Objetivos: compreensão dos fenômenos luminosos, bem como o comportamento da luz quando propagada entre meios com estruturas atômicas diferentes.

Nº de aulas: Oito aulas

Primeira aula – refração convencional

O professor inicia a aula com algumas questões a serem respondidas:

- Por que o sol, ao se aproximar do horizonte, sofre uma leve deformação em sua circunferência (aparência oval)?
- Por que quando o sol se põe por completo no horizonte não escurece de imediato, ou antes do nascer do Sol já podemos observar a claridade?
- Por que a Lua fica vermelha quando ocorre um eclipse lunar?
- Como se dá a formação de arco-íris?
- É possível um objeto ficar invisível ao ser imerso em um líquido?

Teoria

A luz, ao passar por dois meios, sendo cada um com uma estrutura atômica diferente, sofre mudança na sua velocidade e conseqüentemente na sua direção, gerando assim alguns fenômenos observados na natureza: arco-íris, crepúsculo, deformação do Sol no horizonte, entre outros.

A mudança na velocidade pode ser tanto aumentada quanto diminuída, a depender dos dois meios sobre os quais ela incide. Como consequência, observamos uma imagem diferente da que corresponde o objeto observado, esse fenômeno é chamado de **refração**¹⁵.

A velocidade da luz, por sua vez, poderá ser aumentada – desde que não esteja se propagando no vácuo – ou diminuída de acordo com a densidade dos meios de propagação. No caso de a luz incidir do meio menos denso para o meio mais denso, sua velocidade será reduzida, porém se a incidência da luz se der do meio mais denso para o menos denso, sua velocidade será aumentada.

Respondendo às perguntas

A luz provinda do Sol, quando atinge nossa atmosfera está incidindo do vácuo para a nossa atmosfera, ou seja, de um meio menos denso para um meio mais denso, provocando uma redução em sua velocidade. Essa redução também provoca mudança na direção da luz, gerando, assim, uma imagem deformada do Sol quando observado próximo do horizonte (aparência oval).

Com esse mesmo raciocínio, também podemos entender o porquê do dia não escurecer de imediato, quando o Sol se põe, ou o porquê do dia já clarear, antes do nascer do Sol; mesmo quando o Sol está abaixo da linha do horizonte, os raios ainda incidem na atmosfera sofrendo desvios para dentro da atmosfera, promovendo uma claridade no céu.

¹⁵ Neste momento o professor pode citar alguns fenômenos facilmente observados no cotidiano do aluno: um canudo mergulhado parcialmente num copo com água; o fundo de uma piscina observado de fora; entre outros.

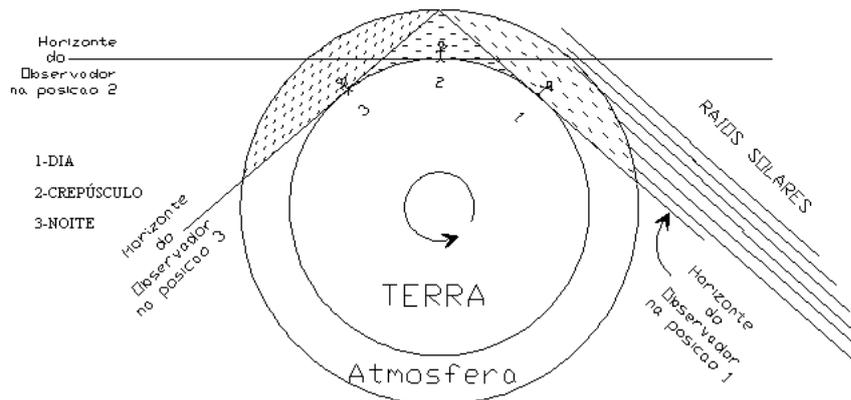


Figura 9.4: Crepúsculo do Sol na posição 2

Fonte: <http://www.cdcc.usp.br/cda/aprendendo-basico/esfera-celeste/esfera-celeste.htm>

Também é importante destacar que, devido à refração da luz na atmosfera, quando observamos o Sol se pondo no horizonte, sua posição real é bem abaixo do que estamos enxergando, ou seja, o Sol já não está mais naquela posição – lembrando que a luz do Sol leva oito minutos para chegar na Terra, logo a imagem que vemos do sol é sempre oito minutos atrasada.

Para o caso da Lua, que fica avermelhada no eclipse lunar, também é devido à refração, pois a velocidade da luz, incidindo na Lua, passa do vácuo para a nossa atmosfera, seguindo de volta para o vácuo. Nessa transição – vácuo-atmosfera-vácuo – os raios solares sofrem uma redução na sua velocidade e com isso, as cores de alta frequência sofrem um espalhamento, prevalecendo apenas as cores de baixa frequência – no caso o vermelho. Esses raios de baixa frequência incidem sobre Lua sendo refletidos de volta, em direção a Terra, gerando a cor avermelhada da Lua ¹⁶.

Assim como observado no eclipse lunar, o mesmo acontece na formação do arco-íris, pois como sabemos, o arco-íris só é formado em situações em que a luz solar atravessa gotículas de água na atmosfera, que por serem mais densas, que a atmosfera, geram uma redução na velocidade da luz, provocando uma dispersão das cores. Logo, as cores que antes não eram distinguíveis pelo olho humano – devido a sua velocidade –, acabam por se “separarem”, diferenciando-se umas das outras.

Para responder a última pergunta, o professor realizará um experimento demonstrativo, onde um pequeno tubo de vidro é mergulhado totalmente na água,

¹⁶ O professor, nesse momento, pode discutir com o aluno a respeito da cor branca, proveniente da união de todas as cores, emitidas nos raios solares e por essa razão quando olhamos para o Sol, em posições bem acima do horizonte, enxergamos a cor branca.

logo depois o mesmo tubo é mergulhado totalmente em um líquido transparente (glicerina), porém não revelado aos alunos. Na primeira situação do experimento, os alunos conseguem ver o tubo imerso na água, já na segunda situação eles não conseguem ver o tubo, o que os deixa intrigados.

Após a demonstração, revela-se qual é o líquido – glicerina – explicando o porquê o tubo fica invisível ao ser imerso na glicerina, uma vez que sabemos que a glicerina tem um índice de refração muito próximo ao do vidro e, por isso, a luz não sofre um desvio perceptível ao olho humano. A partir dessa discussão pode se dar mais ênfase ao conceito de refração, bem como o comportamento da luz em diferentes materiais, e, com auxílio de uma tabela de índices de refração, o professor pode discutir o índice de refração de alguns materiais e quais os efeitos de quando a luz incide sobre eles.

Substância	Índice de refração
Ar (0 °C)	1,000293
Água	1,333
Vidro	1,418
Cloreto de Sódio	1,544
Diamante	2,417
Glicerina	1,470

Tabela 9.1 – Índice de refração de algumas substâncias

Fonte – Keller, *et al.*, 2009 p. 414

Em seguida o professor dará sequência na aula apresentando a fórmula do índice de refração mostrado na equação 9.1:

$$n = \frac{c}{v} \quad (9.1)$$

Onde “c” é a velocidade da luz no ar, “v” é a velocidade da luz no meio refringente e “n” é o índice de refração da luz no meio refringente. Em seguida, o professor pode fazer na lousa um esboço da trajetória da luz ao ser refratada, conforme exemplo sugerido nas figuras 2 e 3:

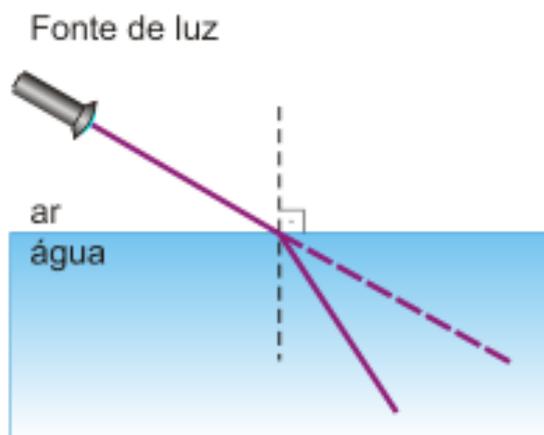


Figura 9.5 – Fenômeno de refração (2).

Fonte: http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/10/preparando-se-para-o-enem_19.html

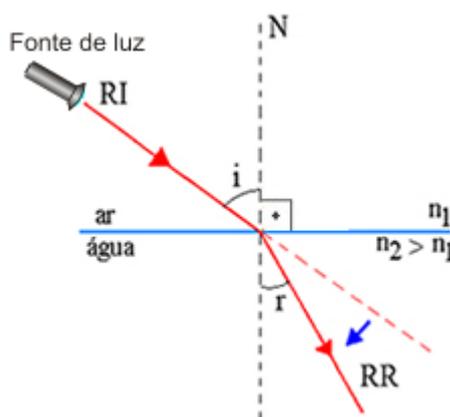


Figura 9.6 – Modelo do comportamento da luz no fenômeno de refração

Adaptado de: <http://alunosonline.uol.com.br/fisica/leis-refracao.html>

Com base na figura 10.3, e sendo “**RI**” o raio incidente, “**RR**” o raio refratado, “***i***” o ângulo de incidência entre o raio incidente e a reta normal, “***r***” o ângulo de refração entre o raio refratado e a reta normal, “***n*₁**” o índice de refração no meio 1 e “***n*₂**” o índice de refração no meio 2, o professor pode discutir a relação trigonométrica existente, e então apresentar a Lei de Snell-Descartes, conforme mostrado na equação 10.2¹⁷:

$$n_1 \times \text{sen}(\theta_1) = n_2 \times \text{sen}(\theta_2) \quad (9.2)$$

¹⁷ Neste momento o professor pode desenvolver um exercício como exemplo e também discutir a respeito dos peixes, cuja a profundidade observada de fora da água é sempre menor que a sua profundidade real.

Segunda e terceira aula

Nessas duas aulas seriam trabalhados exercícios de fixação. O objetivo é aplicar uma quantidade de exercícios que permita aos alunos desenvolverem o cálculo em aula, para que assim possam tirar suas dúvidas com o professor¹⁸.

Quarta aula

Na quarta, se o professor achar necessário, poderá fazer revisão sobre o que já foi discutido sobre refração, tanto os fenômenos, como os conceitos e as fórmulas. Após a revisão seria aplicado dois exercícios de fixação¹⁹.

Quinta aula – refração negativa

Com base no que foi discutido sobre refração convencional, o professor daria início às aulas sobre a refração negativa, cujo princípio do conceito não diverge da refração convencional, apenas apresenta um comportamento na trajetória da luz que, ao incidir sobre um meio com índice de refração negativo, faz com que o raio seja refratado para o mesmo lado no qual foi incidido. O comportamento da luz na refração negativa é mostrado na figura 3:

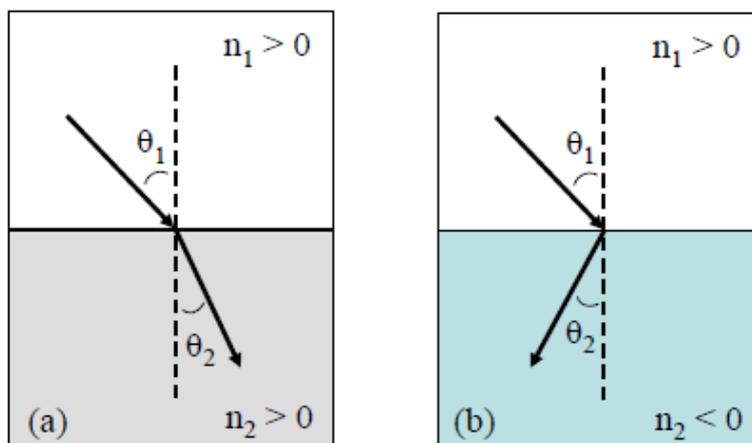


Figura 9.7 – (a) Refração convencional (2). (b) Refração negativa (2)

Fonte: Santos, W. (2011)

Após a explicação, o professor colocaria um exercício como exemplo, resolvendo-o junto com seus alunos, e, na sequência, seriam aplicados alguns exercícios de fixação para que os alunos tentassem resolver²⁰.

¹⁸ Sugestão de exercícios de fixação estão contidos no anexo F.

¹⁹ Exercícios sugeridos para revisão podem ser lidos no anexo G.

²⁰ Exercícios de fixação, bem como o exemplo sugerido estão contidos nos anexos H e I.

Sexta aula

Nesta aula seria discutida com os alunos uma possível aplicação para refração negativa, referindo-se à possibilidade de deixar um objeto invisível, uma vez que, através da refração negativa, é possível controlar o desvio sofrido pela luz em um determinado material, gerando um contorno da luz sobre o material, e assim tornando o material invisível ao olho humano.

Após a discussão seria proposto uma atividade – em grupo ou individual – na qual seria colocada a seguinte pergunta: O que você faria se tivesse um manto da invisibilidade? A atividade daria ao aluno total liberdade de pensamento e criatividade para responder a questão.

Sétima aula

Nesta aula seria proposta uma atividade com dinâmica semelhante a da aula anterior, onde os alunos teriam que responder à seguinte pergunta: De que forma o manto da invisibilidade poderia ser benéfico para a sociedade? Para essa atividade é sugerido que os alunos formem grupos para possam discutir a respeito da pergunta. O professor também pode propor que os alunos mencionem pontos positivos e negativos quanto essa possível aplicação da refração negativa.

Oitava aula

Nesta aula propomos uma avaliação – em grupo ou individual – para que o professor possa fazer uma análise quanto ao aprendizado dos alunos, bem como a respeito do interesse por temas atuais²¹.

²¹ Acessar o anexo J.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATTA MÍDIA E EDUCAÇÃO. **Grandes Educadores - Lev Vygotsky (2006)**. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=KwnIKDXeEdI>> Acesso em 22/03/2016.

BRASIL. **LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**: lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. – 6. ed. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2011. Disponível em: < http://www.univale.com.br/unisite/documentos/livros_digitais/lei_de_diretrizes_e_bases_da_educacao.pdf>. Acesso: 09/04/2015.

BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+ – Ensino Médio)**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação e dos Desportos - MEC; SEMTEC, Brasília – DF, 2002.

BRASIL. **Guia de Livros Didáticos PNLD 2012 Física Ensino Médio**. Ministério da Educação Secretaria de Educação Básica Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, Brasília – DF, 2011.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**. Vol. 10(3), pp. 387-404, 2005.

CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P. A importância da educação científica na sociedade atual. Em: CACHAPUZ, A. *et al.* (orgs.) **A necessária renovação do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

CHEVALLARD, Yves. **La transposicion didática Del saber sábio al saber enseñado**. Buenos Aires: Aique, 1991.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**: Saberes necessários à prática educativa. São Paulo, Paz e Terra, 2011.

FREITAS, Wesley R. S. e JABBOUR, Charbel J. C. Utilizando estudo de caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões **ESTUDO & DEBATE**, Lajeado, v. 18, n. 2, p. 07-22, 2011

GIRCOREANO, José Paulo; PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. O ensino da óptica

na perspectiva de compreender a luz e a visão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. v. 18, n.1: p. 26-40, abr. 2001.

GÓMEZ-GRANELL, C. Rumo a uma epistemologia do conhecimento escolar: O caso da educação matemática. Em: RODRIGO, M. J.; ARNAY, J. (orgs.) **Domínio do conhecimento, prática educativa e formação de professores: a construção do conhecimento escolar**. Tradução de: SCHILLING, C. São Paulo: Ática, 1998. v2 pp. 15-41.

KELLER, Frederick J; GETTYS, W. Edward; SKOVE, Malcolm J. **Física** – volume 2. Tradução: Alfredo Alves de Farias. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1999.

KILLNER, Gustavo Isaac. **Cultura Escolar e Cultura Digital**. Tese (Doutorado em Educação). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e execução de pesquisa, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados**. 7ª Edição – São Paulo: Atlas, 2011.

MAYRING, P. **Introdução a Pesquisa Social Qualitativa. Uma introdução para pensar qualitativamente**. 5ª ed. Weinheim: Beltz, 2002.

MORAES, R. Mergulhos Discursivos – Análise Textual Qualitativa Entendida como Processo Integrado de Aprender, Comunicar e Interferir em Discursos. In: **Metodologias Emergentes de Pesquisa em Educação Ambiental**. Maria do Carmo Galiaczy e José Vicente de Freitas (organizadores). 2ª Edição, 2007. Pp.85-114.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29 (3), pp. 447 – 454, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**. Vol. 5(1), pp. 23-48, 2000 .

PATY, Michel. **A Matéria Roubada: A Apropriação Crítica do Objeto da Física Contemporânea**. Tradução de Mary Amazonas Leite de Barros. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

PRODANOV, Cleber Cristiano. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico** / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SALES, Gilvandenys Leite; VASCONCELOS, Francisco Herbert Lima; CASTRO FILHO, José Aires de; PEQUENO, Mauro Cavalcante. Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Vol. 30 (3), pp. 3501, 2008.

SANTOS, Boaventura de Souza. **Um discurso sobre as ciências**. São Paulo: Cortez, 2009.

SANTOS, Walter da Silva. **REFRAÇÃO, AS VELOCIDADES DA LUZ E METAMATERIAIS**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2011.

SEE/SP. Secretaria do Estado da Educação de São Paulo. **Proposta Curricular do Estado de São Paulo: Física**. São Paulo: SEE. 2008.

SILVA, José Aparecido da; FILHO, Oswaldo Baffa. **A CENTRALIZAÇÃO DO SABER**. Paidéia, FFCLRP-USR Ribeirão Preto 2000.

SIQUEIRA, Maxell Roger da Purificação. **Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea**. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo 2012.

SOBRAL, Ana Carolina Moura Bezerra; TEIXEIRA, Francimar Martins. Conhecimentos prévios: investigando como são utilizados pelos professores de ciências das séries iniciais do ensino fundamental. **Atas do VI ENPEC**. 2007.

TERRAZZAN, Eduardo. A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º grau. **Cad.Cat.Ens.Fís., Florianópolis**. v.9,n.3: p.209-214, dez.1992.

TESTE T-STUDENT – método de hipóteses.

VALENTE, Lígia. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Caminhos para a Sala de Aula**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo 2009

VALENTE, Lígia. **Espaço da Física Moderna e Nuclear nos Contextos Curriculares e na Pesquisa**. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

VALENTE, Lígia; SCHMIEDECKE, Winston Gomes. **ENERGIA NUCLEAR: UMA ILUSTRE DESCONHECIDA DOS LICENCIANDOS EM FÍSICA**. XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias 2012.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. **Pensamento e Linguagem**. Editora Martins Fontes. São Paulo 1987.

APÊNDICE A – Conceito de refração

Entende-se sobre refração, um fenômeno ligado ao comportamento da luz quando passa de um meio para outro, onde a luz sofre um desvio em sua trajetória, devido a variação de sua velocidade ao passar de um meio para outro. Essa mudança de velocidade é explicada em razão das diferenças entre as estruturas atômicas de cada meio, oferecendo maior ou menor resistência na passagem da luz, podendo então, provocar na luz uma redução ou um aumento sua velocidade.

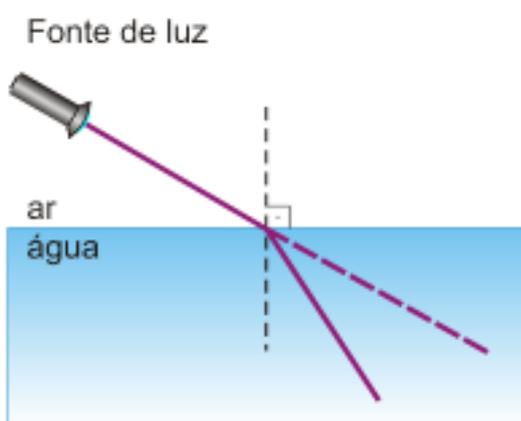


Figura A.1 – Fenômeno de refração.

Fonte: http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/10/preparando-se-para-o-enem_19.html

A velocidade da luz no meio dependerá da densidade do material, ou seja, quanto mais denso for o material, menor será a velocidade de propagação da luz em seu interior, da mesma forma quanto menor for a densidade do material, maior será a velocidade de propagação da luz no seu interior. Logo, dizemos que cada material possui um índice de refração sobre a luz, que é determinado pela seguinte fórmula:

Equação A.1: Índice de refração

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{A.1})$$

Onde **n** refere-se ao índice de refração da luz sobre um material, devido a sua estrutura atômica; **c** é a velocidade da luz no vácuo e **v** é a velocidade da luz sobre um determinado meio.

Na tabela abaixo mostramos o valor de alguns índices de refração de algumas substâncias:

Tabela A.1 – Índice de refração de algumas substâncias

Substância	Índice de refração
Ar (0 °C)	1,000293
Água	1,333
Vidro	1,418
Cloreto de Sódio	1,544
Diamante	2,417
Glicerina	1,470

Fonte – Keller, *et al.*, 2009 p. 414

Este fenômeno, que chamaremos de refração convencional, é facilmente observado na natureza, o crepúsculo observado no fim da tarde ou no amanhecer do dia; um arco-íris no céu; um canudo ou uma colher mergulhada num copo com água; o fundo de uma piscina nos dando a impressão de ter uma profundidade menor do que o real; um peixe na água ou objeto mergulhado num recipiente com água, em que a posição real dentro da água difere da posição observada, fora da água. Por fim, essas e muitas outras situações são exemplos de que podemos observar facilmente o fenômeno de refração na natureza.



Figura A.2 – Fenômeno de refração no copo.

Fonte: Santos, W. (2011)



Figura A.3 – Fenômeno de refração na piscina.

Fonte: Santos, W. (2011)

Cálculo da refração da luz

Todo material, devido a sua estrutura atômica, provoca um desvio na trajetória da luz, quando esta é incidida sobre ele, considerando que cada material possui uma estrutura atômica diferente, a luz terá um desvio diferente sobre cada material que incidir, podendo ser maior ou menor. Esse desvio da luz é medido através do chamado **ângulo de refração**, que se refere ao ângulo entre o raio de luz refratado e uma reta imaginária, perpendicular ao plano, chamada de **reta normal**. Assim como o raio refratado, o raio incidente também forma um ângulo com a reta normal, a diferença entre esses dois ângulos indica qual meio é mais refringente.

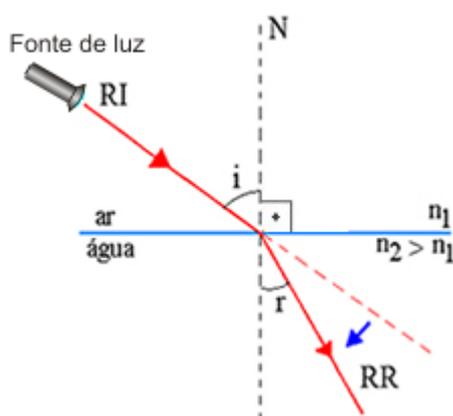


Figura A.4 – Modelo do comportamento da luz no fenômeno de refração

Adaptado de: <http://alunosonline.uol.com.br/fisica/leis-refracao.html>

A figura acima mostra o comportamento da luz ao incidir do ar para a

água, observa-se que o ângulo de incidência i , formado pelo raio incidente **RI** e a reta normal – perpendicular ao plano – é maior que o ângulo de refração r , formado pelo raio refratado **RR** e a reta normal. Logo, o índice de refração da água n_2 é maior que o índice de refração do ar n_1 . Uma linha tracejada, dando continuidade ao raio incidente, mostra a trajetória da luz se não sofresse desvio.

Na figura também pode ser observado que o raio incidente, a reta normal e o raio refratado estão contidos no mesmo plano, uma situação que sempre será observada no fenômeno de refração, nunca de forma diferente, definindo assim a Primeira Lei da Refração.

Através da geometria podemos calcular o índice de refração da luz, bem como o ângulo de refração aplicando a seguinte fórmula definida como Lei de Snell-Descartes:

Equação A.2: Lei de Snell-Descartes

$$n_1 \times \text{sen}(\theta_1) = n_2 \times \text{sen}(\theta_2) \quad (\text{A.2})$$

Onde $\text{sen}(\theta_1)$ corresponde ao seno do ângulo de incidência e $\text{sen}(\theta_2)$ corresponde ao seno do ângulo de refração. A lei de Snell-Descartes é uma lei que estabelece uma constante relação entre o produto do seno do ângulo – que se forma entre o raio e a normal – e o índice de refração do meio correspondente, definindo assim a Segunda Lei da Refração da Luz.

Refração Negativa da Luz

Santos, W. (2011), no seu trabalho de mestrado profissional, apresenta uma pesquisa iniciada a 10 anos, sobre refração negativa, cuja a ideia original surgira em 1968. Segundo o autor desde 2010 começou a surgir questões nos vestibulares (ENEM e UNICAMP), atraindo assim a curiosidade dos estudantes de óptica sobre essa novidade – refração negativa. Sua motivação sobre esse fenômeno se deu em uma aula quando comentou sobre a possibilidade de criar um material com índice de refração negativa, gerando assim, diversos questionamentos por parte dos alunos, uma vez que os próprios professores afirmam não existir um material com índice de refração negativo (a exceção da possibilidade, já existente de criar esse material em laboratório, algo que muitos professores ainda desconhecem).

A refração negativa é um fenômeno que, ao contrário da refração convencional, não é observado na natureza, é criado em laboratório, sua criação se

dá através dos chamados metamateriais, materiais compostos por estruturas artificiais, formadas pelo arranjo regular de minúsculos circuitos elétricos, que podem ser projetados para terem uma propriedade eletromagnética desejada, desempenhando assim, o papel das “moléculas” do material de refração negativa.

Na refração convencional, a luz sofre um desvio em sua trajetória devido a mudança em sua velocidade, porém seu trajeto continua seguindo no mesmo sentido, atravessando o lado oposto da reta normal. Já na refração negativa, a luz sofre não apenas um desvio, mas também uma mudança no sentido sua trajetória, dessa forma, a luz é desviada para o mesmo lado do qual estava incidindo.

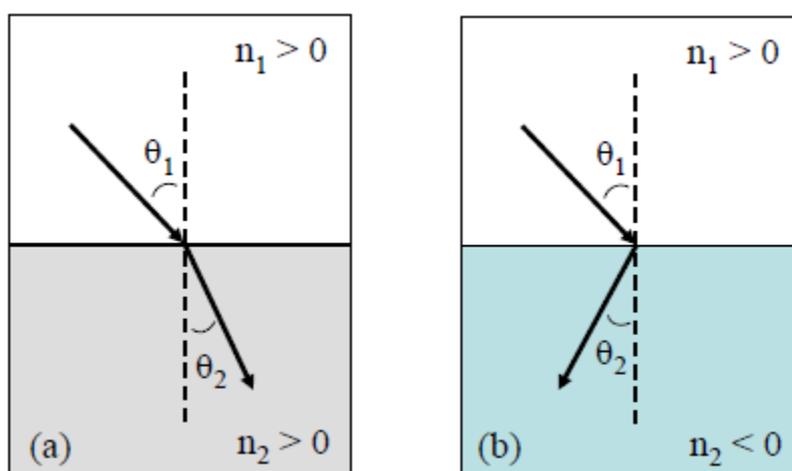


Figura A.5 – (a) Refração convencional. (b) Refração negativa

Fonte: Santos, W. (2011)

Conforme observado na figura (b), a luz sofre um desvio como se fosse refletido de volta, porém mesmo para este comportamento da luz a lei de Snell – que explica o índice de refração dos meios – também é válida para este comportamento, com a diferença de que o índice de refração, bem como o ângulo refratado terão valores negativos. Veja na figura abaixo uma imagem fictícia de uma caneta mergulhada em um copo, cujo o líquido dentro do copo proporcionaria o fenômeno de refração negativa (à direita) frente ao fenômeno de refração convencional (à esquerda).



Figura A.6 – Analogia do fenômeno de refração negativa

Fonte: <http://noticias.uol.com.br/ciencia/album/2013/04/26/objetos-e-materiais-enganam-a-luz-e-ficam-invisiveis.htm#fotoNav=6>

No trabalho de Santos, W. (2011) destaca-se o início desse grande avanço, em 1967, com o físico russo Victor Veselago, sugerindo um material com índice de refração negativo que segundo as leis da física não era impossível de criar. Porém o autor ressalta que somente três décadas depois, em meados da década de 90, o físico britânico John B. Pendry, concluiu, com a colaboração de outros cientistas da empresa britânica Marconi Materials Technology, que seria possível criar, a partir de uma estrutura metálica, um material com índice de refração negativo. A construção do material proposto por Pendry, segundo Santos, W. (2011), se deu somente no ano 2000, com o físico estadunidense, nascido no Japão, David R. Smith, junto com colegas da Universidade da Califórnia.

Por fim, Santos, W. (2011) também destaca alguns avanços, com a criação da refração negativa através dos metamateriais, como a possibilidade já existente de manipular a refração negativa, de forma a controlar os desvios sofridos pela luz. Com uma combinação de metamateriais, com índices de refração positivos e negativos, pode-se criar um sistema de camuflagem, podendo fazer com que um determinado objeto fique invisível aos olhos de um observador, seria uma espécie de “manto da invisibilidade”. Nesse sistema de camuflagem a luz contornaria um determinado objeto ao invés de refletir, e com isso a luz não sofreria reflexão deste objeto ficando assim invisível ou transparente.

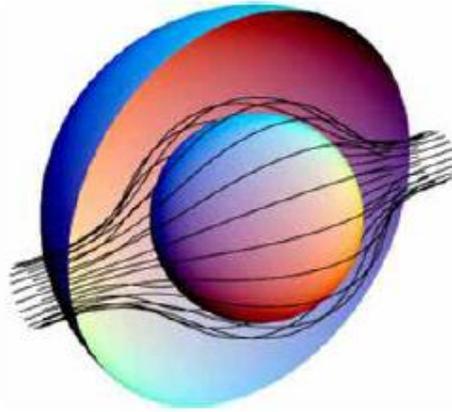


Figura A.7 – Modelo do comportamento da luz no fenômeno de refração negativa

Fonte: Santos, W. (2011)

Na figura acima, os metamateriais da esfera atuam de diversas formas, fazendo com que as ondas eletromagnéticas contornem a esfera, ao invés de refletir ou refratar. Logo, para um observador a esfera se torna invisível, pois não há o fenômeno da reflexão das ondas eletromagnéticas sobre a esfera chegando em seus olhos para que este possa vê-la. A imagem abaixo nos dá uma ideia da aplicabilidade através do fenômeno de refração negativa.



Figura A.8 – Manto da invisibilidade – Uma das possíveis aplicações do fenômeno de refração negativa.

Fonte: <http://www2.joinville.udesc.br/~i9/2014/07/02/o-que-e-um-metamaterial/>



Figura A.9 – Manto da invisibilidade – Uma das possíveis aplicações do fenômeno de refração negativa.

Fonte: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/6398-conceito-de-metamateriais/>

APÊNDICE B – Revisão Snef

Ano	Autor	Tema	Seq. Didática	Estratégia	Ref. Teórico	Avaliação
2007	Maurício Pietrocolla et al.	Raios X	Aplicada	Cotidiano	Não citado	Questionário
2005	Daniel Ângelo dos Santos	Óptica Geométrica	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2015	Thiago Moura Zetti et al.	Mecânica e óptica	Aplicada	Atividade prática	concepção de Instrumentação Científica em Física (ÁREA DE FÍSICA, 1998; ENCICLOPÉDIA..., 1976); a concepção de Popularização da Ciência (GERMANO e KULESZA, 2007); e o significado de processo de ensino-aprendizagem (FARIA, 1987; FREIRE, 1996; MILTÃO et al., 2008, 2006; MIZUKAMI, 1998; PIAGET, 1978)	Observação
2013	Carlos Eduardo Gadelha Kelly	Óptica Geométrica	Aplicada	Cotidiano	Não citado	Questionário
2011	Salomão J. Pereira	Quantização da energia	Aplicada	Teoria/vídeo/simuladores/atividade prática	Não citado	Questionário
2013	Eric Barros Lopes	Óptica Geométrica	Não aplicada	Cotidiano	Diagrama do padrão argumentativo de Toulmin (Cappechi, 2004)	Observação/Análise feita pelos estudantes
2013	Elcio de Souza Lopes	Dualidade da Luz	Não aplicada	Teoria/contexto histórico/prática	Anna Maria Pessoa Carvalho - Sequências de ensino investigativo	Questionário

2013	Silvia Candido et al.	Efeito Fotoelétrico	Aplicada	Teoria/Cotidian o	Não citado	Questionário
2013	Matheus de Araújo Cavalcante	Óptica - modelo ondulatório	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2013	Marcello Secco	Fotossíntese e o comprimento de onda da luz	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes
2013	Saul Benhur Schirmer	Óptica Geométrica	Aplicada	Cotidiano	Não citado	Questionário
2013	Bárbara do Nascimento Costa Aranha	Modelo Atômico	Não aplicada	Contexto histórico	Não citado	Lista de exercício
2013	Bruna Rodrigues Cadan	Óptica Geométrica	Não aplicada	Teoria/contexto histórico/vídeo/prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes/Questionário
2013	Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza	Óptica Geométrica	Não aplicada	Tirinhas	Azevedo (2004) - Investigação científica	Questionário
2011	Paulo Durval Pupo et al.	física nuclear	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada

2011	Filipe Kelmer	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário
2011	Fernanda Fonseca et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Contexto histórico	Não citado	Questionário/lista de exercícios
2011	Sousa, Wellington B. et al.	Física das radiações	Não aplicada	Cotidiano	Chevallard	Não aplicada
2009	Johnathan C. Miguel et al.	Energia/Meio Ambiente	Não aplicada	Teoria/vídeo/simuladores/prática	Vygotsky	Questionário
2011	Luiz Cezar Mendes da Silva	Semicondutores/Átomo de Bohr	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2009	Ednilson Santos et al.	Átomo de Bohr	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2009	Bruna G. G. Potenza et al.	Dualidade da Luz	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes
2009	Virgínia M. Alves et al.	Dualidade da Luz	Aplicada	Teoria/contexto histórico/simuladores/atividade prática	Bachelard	Análise feita pelos estudantes
2009	Leandro Ribeiro Pinto	Radiação Eletromagnética	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada

2009	Márlon Caetano Ramos Pessanha et al.	Radiação Eletromagnética	Não aplicada	Atividade prática	Piaget	Não aplicada
2009	Sousa, Wellington B. et al.	Radiação Eletromagnética	Aplicada	Teoria	Chevallard	Não aplicada
2009	Alexsandro P. de Pereira	Dualidade da Luz	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2009	Maria Aldia da Silva	Aspectos da luz	Aplicada	Atividade prática	Vigotski	Análise feita pelos estudantes
2007	D. F. Sanchez	Refração da luz	Não aplicada	Atividade prática/contexto histórico	Não citado	Lista de exercício
2007	Scheila Vicenzi et al.	Difração da luz	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2007	Bruno Ricardo Pinto dos Santos et al.	Visão	Não aplicada	Teoria/atividade e prática	Não citado	Não aplicada
2007	João Freitas da Silva	Dualidade da Luz	Não aplicada	Teoria/contexto histórico/simuladores/atividade prática	Anna Maria Pessoa Carvalho - Sequências de ensino investigativo	Não aplicada
2007	Jackson Neo Padilha	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Vigotsk	Questionário
2007	Alisson Daniel de Macedo	Radiação de corpo negro	Aplicada	Teoria/simuladores	Ausubel	Mapa conceitual

	Vitor					
2007	Maxwell Siqueira et al.	Raios X	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário
2005	Benedito Antonio Corteze et al.	Cores/visão	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes
2005	Silvia Helena Mariano de Carvalho	Óptica Geral	Aplicada	teoria/texto histórico/images	Paulo Freire	Construção de portfólio
2005	Sandra Cristina Licerio Melchior	Cores	Aplicada	Atividade prática	Concepções alternativas	Questionário
2005	Rafael Pinheiro et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2005	Daniele Freitas Barbosa et al.	Óptica Geométrica	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2005	Paschoal Messere e Castro	Óptica Geométrica	Não aplicada	Atividade prática/contexto histórico	Não citado	Questionário
2005	Isa Costa	Óptica física	Não aplicada	Cotidiano	Não citado	Questionário
2005	Leonardo Henrique Gouvêa	Óptica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes

2005	A.B. Neto	Óptica Geométrica	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2005	Jonny Nelson Teixeira	Óptica Geométrica	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2005	Alan César Ikuo Yamamoto et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2005	Fabio Ferreira de Oliveira	Raios X	Proposta de Atividade	Cotidiano	Não citado	Não aplicada
2015	SEDUC-CE/Professor de Física /EEFM ProfaTelina Barbosa da Costa	Raios X	Aplicada	Teoria/vídeo	Não citado	Questionário
2015	Gabriela Mendes Silva	Dualidade da Luz	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2015	Colégio Pedro II	Efeito Fotoelétrico	Aplicada	Simulação	Ausubel	Questionário
2015	Fundação Universidade de Rio Grande et al.	Radiações: ionizantes e não ionizantes	Aplicada	Teoria/Cotidiano	Não citado	Questionário
2015	Diego Figueiredo Rodrigues et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes

2015	Roberta Pereira Telles Vieira	Efeito Fotoelétrico	Não aplicada	Vídeo	Não citado	Análise feita pelos estudantes
2015	Gleyce Kelly Mesquita dos Santos et al.	Radiações/Espectro eletromagnético	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2015	Siqueira, Rafael Levy Abel et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Simulação	Jose Armando Valente - TIC	Criação de uma modelagem
2015	Marcus Vinicius Pereira et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática/vídeo	Schrøder	Análise feita pelos estudantes
2015	Júlio César Cabral et al.	Efeito Fotoelétrico	Não aplicada	Cotidiano/atividade prática	Não citado	Questionário
2015	Paulo Malicka Musiau et al.	Efeito Fotoelétrico	Não aplicada	Atividade prática	Não citado	Não aplicada
2015	Maria Gabriela Valeriano et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário
2015	Marciano Alves Carneiro et al.	Dualidade da Luz	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário
2015	José Francisco Flores	Óptica física	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes

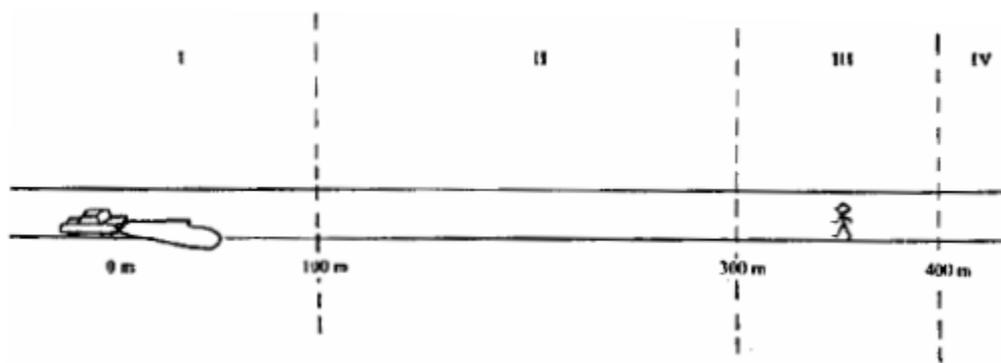
2015	Leticia Zago et al.	Efeito Fotoelétrico	Aplicada	Teoria/simuladores	Não citado	Questionário
2015	Mônica Cunha Ramos et al.	Natureza da luz	Aplicada	Teoria/atividade e prática	Delizoicov e Angotti	Questionário
2015	Pablo Diego Barbosa da Silva	Óptica Geométrica	Aplicada	Teoria/atividade e prática	Não citado	Não aplicada
2015	Tairine L. Dias Machado	Efeito Fotoelétrico	Aplicada	Teoria	Ausubel	Questionário
2005	Neiva Godoi et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário
2005	Jackson Neo Padilha	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário
2009	Ronaldo Rodrigues da Costa et al.	Radiação Eletromagnética	Aplicada	Cotidiano	Ausubel/Paulo Freire	Questionário
2015	Luciano Gomes de Medeiros Jr	Óptica Geométrica	Aplicada	Simulação/atividade prática	Não citado	Questionário
2015	Milene Rodrigues Martins et al.	Espectroscopia	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário

2015	Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho	Astronomia	Não aplicada	Texto didático	Moura	Análise feita pelos estudantes
2015	Ulisses A. Leitão	Óptica física	Não aplicada	Simulação/atividade prática	Chevallard/Vigotski	Análise feita pelos estudantes
2015	Nelson Barrelo Junior et al.	Conceito de fóton	Aplicada	Texto didático/atividade de prática	Não citado	Análise feita pelos estudantes
2015	Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza	Óptica Geométrica	Aplicada	Tirinhas/cotidiano	Não citado	Questionário
2015	Vanessa Heleno et al.	Óptica Geométrica	Aplicada	Atividade prática	Não citado	Questionário
2015	Carlos Alexandre dos Santos Batista	Radioatividade de	Aplicada	Vídeo	Teaching Learning Sequences - TLS	Questionário
2015	Sérgio Henrique de Souza et al.	Radiações	Não aplicada	Questionário	Não citado	Não aplicada

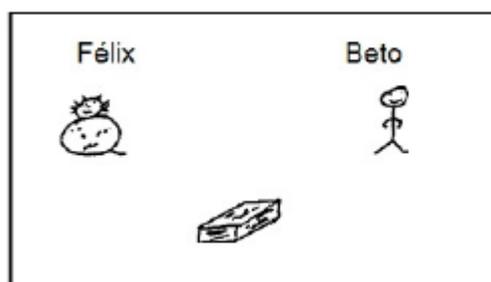
APÊNDICE C – Atividade aplicada na terceira aula²²

Questionário para discussão

- 1) Numa noite limpa e escura, um carro está parado numa rua reta e plana. O carro está usando faróis baixos. Um pedestre, que está parado na rua, consegue ver as luzes do farol. A ilustração está dividida em quatro seções. Em quais seções há luz? Explique sua resposta.



- 2) Suponha a mesma situação descrita na questão anterior, só que ao invés do carro, temos uma pequena vela acesa. Em que seções haveria luz? Explique sua resposta.
- 3) Ainda com relação à questão 1, se o farol do carro estivesse ligado durante o dia, até onde a luz do farol chegaria?
- 4) Beto e seu gato Félix estão numa sala completamente escura e não há nenhuma luz lá. Você acredita que Beto:
- não é capaz de ver a caixa.
 - só consegue perceber a caixa.
 - vê a caixa com muita facilidade.



²² Fonte: Projeto Lumini: www.if.usp.br/~lumini

Explique a razão da sua escolha.

- 5) Da mesma forma como na questão anterior (a sala está completamente escura e não há luz). Você acredita que o gato Félix:
- a. não é capaz de ver a caixa.
 - b. só consegue perceber a caixa.
 - c. vê a caixa com muita facilidade.

Explique a razão da sua escolha.

- 6) No diagrama abaixo, Sueli vê a árvore. A luz do sol ajuda Sueli a ver a árvore? Explique por quê.



- 7) O que acontece com a luz quando ela atinge:
- a) uma folha de papel.
 - b) um espelho.
 - c) um vidro transparente.
 - d) um vidro fosco.
- 8) Imagine uma sala totalmente negra (chão, teto e paredes), onde não entra luz alguma. Há uma caixa também preta no chão. Você poderia vê-la se as luzes estivessem apagadas? E se estivessem acesas? Explique por quê.

APÊNDICE D – Exercícios de fixação aplicados na quinta aula

Fenômenos luminosos

- 1) Um muro de 2 m de altura produz uma sombra de 60 cm. No mesmo instante, um prédio produz uma sombra de 15 m. Determine a altura do prédio. Faça um esquema das trajetórias do raio de luz, representando a situação.

- 2) À noite, um homem de 1,60 m de altura está de pé, parado a 2,5 m de distância de um poste que tem uma lâmpada acesa no alto. A sombra do homem projetada no chão tem 1 m de comprimento. Faça uma figura mostrando a formação da sombra e responda:
 - a) Qual a distância da lâmpada ao chão?

 - b) Se a distância do homem ao poste se tornar duas vezes maior, o que ocorrerá com o comprimento da sua sombra?

APÊNDICE E – Exercícios aplicados na sexta aula

Câmara escura

- 1) Uma câmara escura tem orifício de 25 cm de profundidade. Deseja-se obter a imagem de uma árvore distante 8 m da câmara. Observa-se no fundo da caixa que a projeção da imagem da árvore tem 6 cm de altura.
 - a) Represente em um esquema a imagem vista pelo observador no fundo da caixa.

 - b) Calcule a altura da árvore.

- 2) Uma pessoa de 1,60 m de altura está em pé, em frente do orifício de uma câmara escura, à distância de 2 m. Calcule a altura de sua imagem projetada no anteparo, sabendo que esta tem 40 cm de comprimento.

APÊNDICE F – Exercícios sobre reflexão da luz aplicados na sétima aula

2ª Lei da Reflexão

- 1) Um estudante, querendo obter a altura de um prédio fez o seguinte experimento:

Com uma pequena tigela d'água, colocou-a no chão de forma que a ponta do prédio fosse refletida na tigela. O estudante, a 0,30 m da tigela, conseguia observar o reflexo da ponta do prédio com a cabeça perfeitamente reta. Sabendo que os olhos do estudante estão a 1,70 m do chão e que a distância entre a tigela e o prédio é de 7,5 m, determine a altura do prédio encontrada pelo estudante.

- 2) Com base no exercício anterior, determine a distância entre o estudante e a tigela caso a altura de seus olhos fossem 1,60 m.

- 3) Ainda sobre o exercício anterior, caso o estudante quisesse aproximar a tigela do prédio, reduzindo a distância para 3,5 m. Sendo a altura de seus olhos 1,70 m, qual seria a nova distância entre ele e a tigela?²³

²³ O exercício 3 não seria possível de se realizar na prática, pois o estudante não conseguiria enxergar o reflexo da ponta do prédio na tigela com a cabeça perfeitamente reta.

APÊNDICE G – Atividade de Campo aplicada na oitava aula

Calculando a altura da telha da escola

Grupos:

De três a quatro alunos.

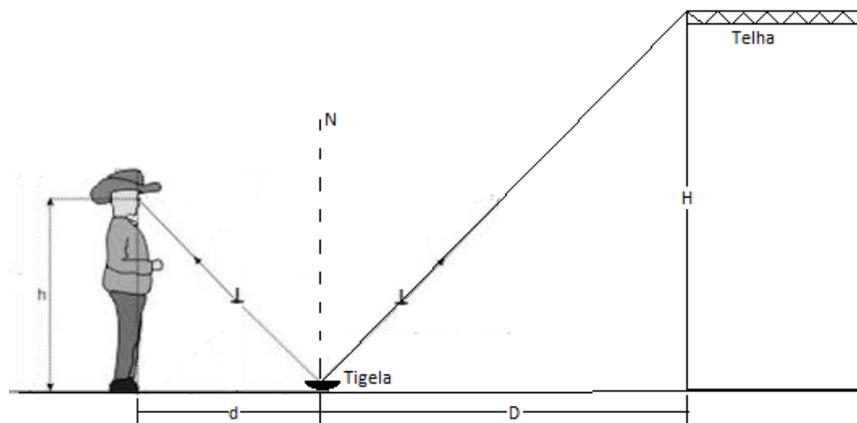
Material:

1 trena

1 tigela de sobremesa

Procedimento

- Encher a tigela com água até a sua borda.
- Posicionar a tigela de forma que um integrante do grupo possa ver o reflexo da ponta da telha sem ter que mexer a cabeça (estar com a cabeça perfeitamente reta).
- Com a trena, medir a altura do olho deste do estudante até o chão.
- A partir de um ponto no chão – alinhado com os olhos do estudante – medir a distância entre a tigela e este ponto (distância horizontal).
- Medir a distância horizontal entre a tigela e a telha.



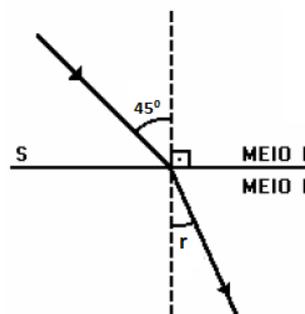
- Com base na segunda lei da reflexão e na relação trigonométrica da semelhança de triângulo, determinar a altura H da telha.

APÊNDICE H – Exercícios sobre refração da luz aplicados em aula

Refração convencional

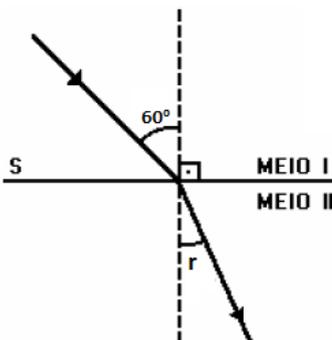
- 1) Calcule a velocidade da luz amarela propagando-se na água, cujo índice de refração vale 1,33. (Dado: Velocidade da luz = 3×10^8 m/s).
- 2) A figura mostra dois meios, 1 e 2 com índices iguais a 1 e $\sqrt{2}$, respectivamente, calcule a medida do ângulo de refração.

Dado: $\sin 45 = \frac{\sqrt{2}}{2}$



- 3) Adotando a velocidade da luz no vácuo, igual a 3×10^8 m/s, calcule o índice de refração para dois meios em que a luz se propaga com velocidade:
 - a) $1,15 \times 10^8$ m/s
 - b) $2,0 \times 10^8$ m/s
- 4) Um raio de luz passa do meio 1 para o meio 2 conforme indica a figura. Sabendo que o meio 1 é o ar ($n_1 = 1$) e o $n_2 = \sqrt{3}$, determine:
 - a) A medida do ângulo de refração.
 - b) A velocidade da luz no meio 2.
 - c) O desvio, em graus, sofrido pela luz incidente ao passar para o meio 2.

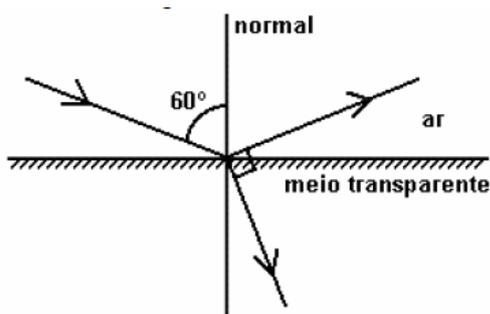
Dado: $\sin 60 = \frac{\sqrt{3}}{2}$



APÊNDICE I – Exercícios de revisão sobre refração da luz aplicados em aula

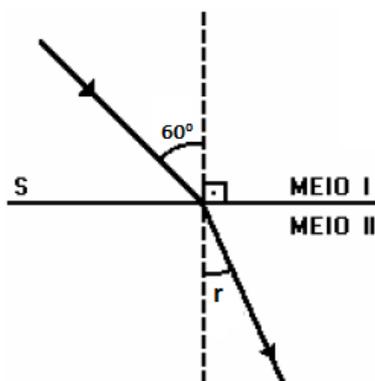
Revisão

- 1) Um raio luminoso se propaga no ar ($n = 1$) e incide sobre um meio transparente com ângulo de incidência de 60° conforme a figura. Determine o índice de refração no vidro.



- 2) Um raio de luz, proveniente do ar, possui velocidade de $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, quando incide sobre uma superfície plana de vidro formando um ângulo de 60° com a reta normal. Sendo a velocidade da luz, no vidro, igual a $1,73 \times 10^8 \text{ m/s}$, determine o ângulo de refração, formado pela luz incidente.

Dado: $\sin 60 = 0,87$



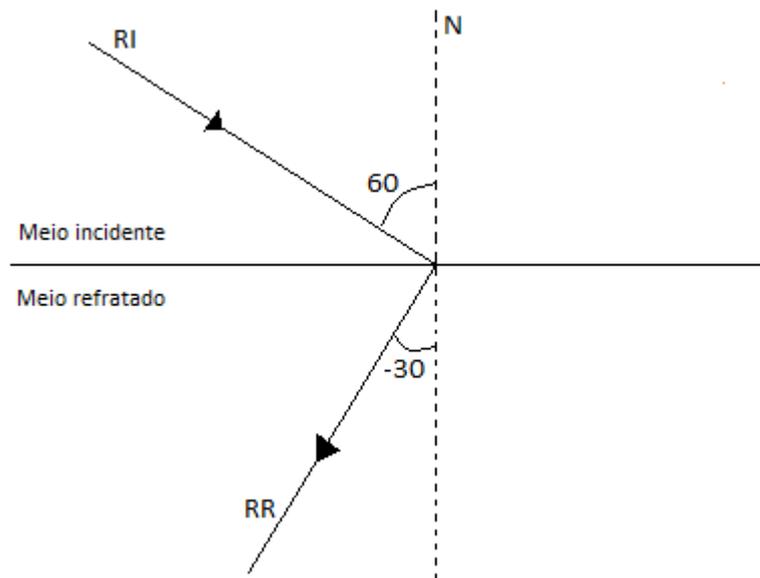
APÊNDICE J – Exemplo da refração negativa demonstrado na aula

Refração negativa

Assim como na refração convencional a Lei de Snell-Descartes é válida, aplicando as mesmas fórmulas:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{v_2}{v_1}$$

Exemplo:



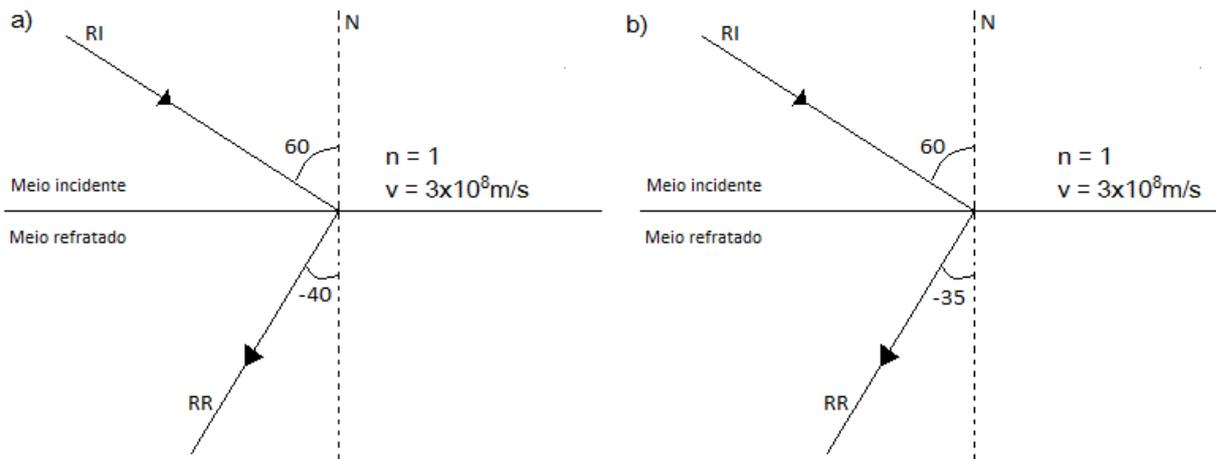
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin r}{\sin i} \rightarrow \frac{1}{n_2} = \frac{\sin -30}{\sin 60} \rightarrow \frac{1}{n_2} = \frac{-0,5}{0,87} \rightarrow -0,57 = n_2$$

APÊNDICE K – Exercícios sobre refração negativa aplicados em aula

Refração negativa

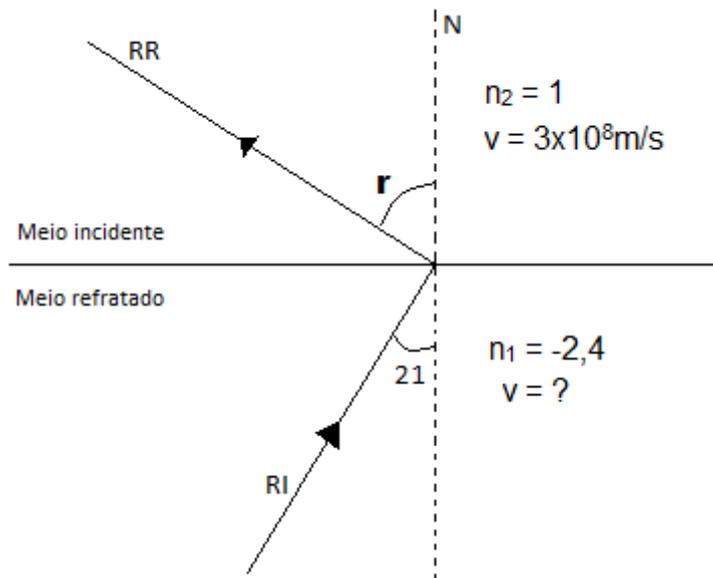
1) Para as representações abaixo determine:

- Índice de refração do meio
- Velocidade de propagação do meio



2) Dado o índice de refração abaixo determine:

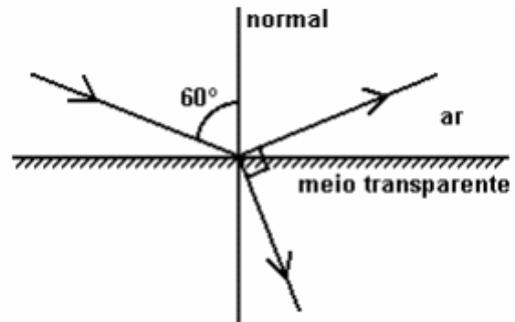
- O ângulo r .
- A velocidade de propagação do meio incidente.



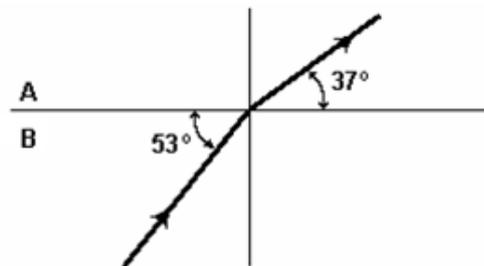
APÊNDICE L – Atividade avaliativa

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar " $n_{(ar)} = 1$ " incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:

- Raio incidente.
- Raio refratado.
- Ângulo de incidência.
- Ângulo de refração.
- Qual é o Índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.



- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$



- A aula sobre refração negativa lhe proporcionou algum interesse pela ciência, ou em saber mais sobre este fenômeno? Por quê?
- Ter estudado refração negativa lhe ajudou a entender melhor o conceito de refração de um modo geral? Justifique.
- Após a aula sobre refração negativa, se você visse em uma revista, jornal, TV ou internet, uma matéria que falasse sobre refração negativa ou outro tema da física contemporânea, você se interessaria pela notícia? E antes dessa aula?

APÊNDICE M – Desempenho da turma B na atividade aplicada.

Grupo 1

$\alpha = 60^\circ$
 $b =$
 $C = 30^\circ$
 $d =$

$2 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{Sen} \alpha}{\text{Sen} \beta} \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\text{Sen} \alpha}{\frac{2}{5}}$
 $\frac{1}{2} = \frac{\text{Sen} \alpha}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2} = \text{Sen} \alpha$
 $\frac{\sqrt{3}}{4} = \text{Sen} \alpha$
 $\frac{1,7}{4} = 0,43 \text{ Sen} \alpha = 25^\circ \cdot n$

$1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{Sen} \alpha}{\text{Sen} \beta} \rightarrow \frac{1}{30} = 0,48 \rightarrow \frac{1}{0,48} = n_2 \rightarrow 2,08$
 $\frac{1}{n_2} = \frac{0,42}{0,87} \rightarrow 1 = 0,48 \cdot n_2$

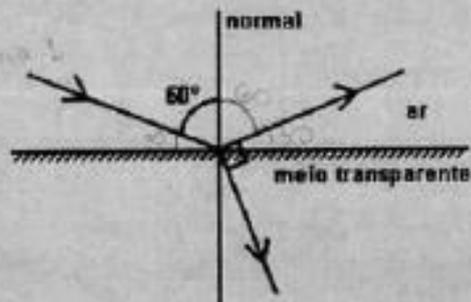
$2 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{Sen} \alpha}{\text{Sen} \beta} \rightarrow \frac{1}{n_2} = 0,75 \rightarrow \frac{1}{0,75} = n_2 \rightarrow 1,33$
 $\frac{1}{n_2} = \frac{0,60}{0,80} \rightarrow 1 = 0,75 \cdot n_2$

g:

h. Perpendiculares são sempre ortas, que não se intersectam.

Grupo 2

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.

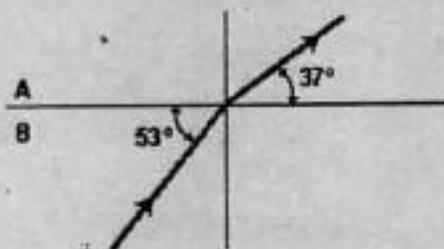


h) O que você entende por perpendicularidade?

que não é algo igual e
é proporcional

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{0,87 \cdot 10^8}{1} = v_2 = 0,87 \cdot 10^8 = \frac{3 \cdot 10^8}{0,87} = 2,62$$

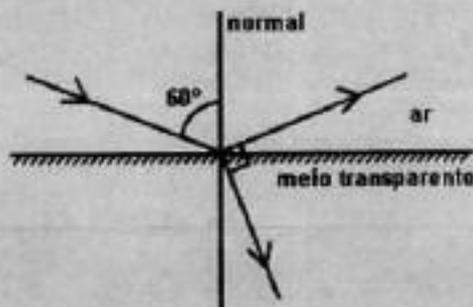
- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{2,0}{n_2} = \frac{0,60}{0,80} = n_2 = 2,0 \cdot \frac{0,60}{0,80} = n_2 = \frac{1,2}{0,80} = 1,5$$

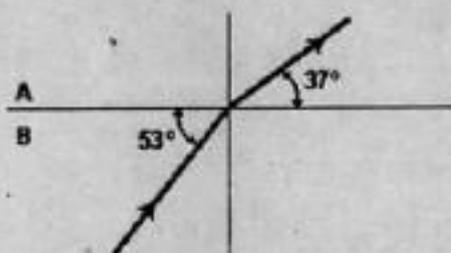
Grupo 3

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$

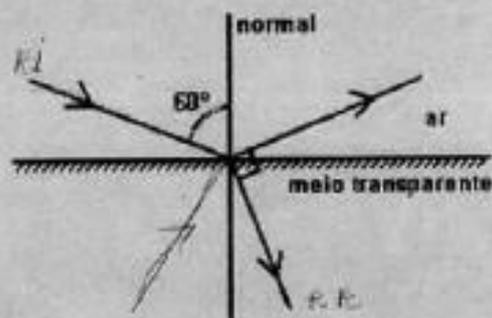
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin r}{\sin i} = \frac{2,0}{n_2} \cdot \frac{\sin 37^\circ}{\sin 53^\circ} = 2,0 \cdot \frac{0,60}{0,80} = \frac{2,0}{n_2} = 0,75$$



$$n_2 = \frac{2,0}{0,75} = n = 2,66$$

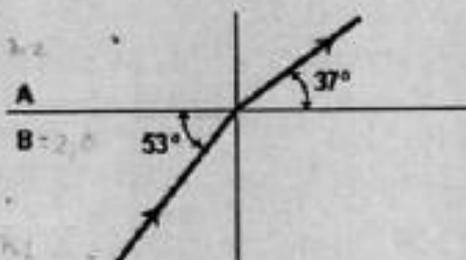
Grupo 4

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



1) a) $n_1 = 0,87$
 $n_2 = \text{sem}$

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dadas: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



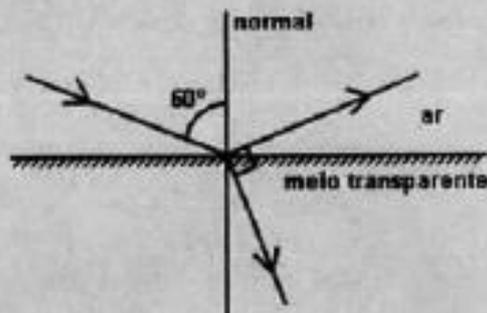
$$\frac{2,0}{n_2} = \frac{0,60}{0,80}$$

$$n_2 = \frac{0,60 \cdot 2,0}{0,80}$$

$$n_2 = 1,5$$

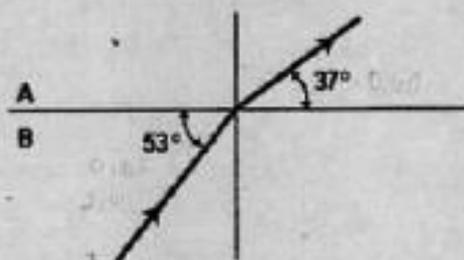
Grupo 5

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n_2 , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



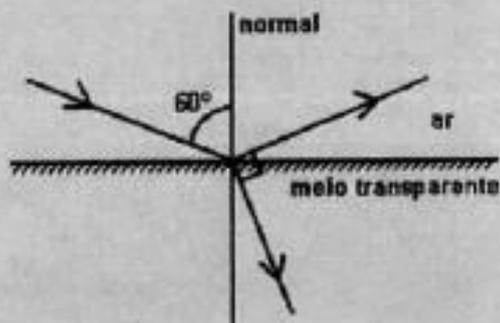
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \rightarrow \frac{2,0}{n_2} = \frac{\sin 53^\circ}{\sin 37^\circ}$$

$$\rightarrow \frac{2,0}{n_2} = \frac{0,80}{0,60} \rightarrow 2,0 = 1,33 \cdot n_2$$

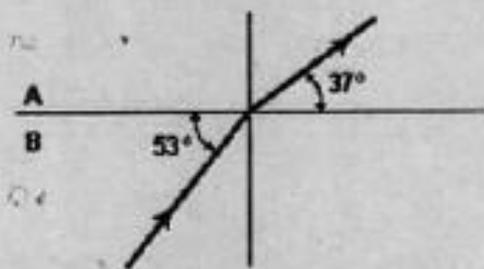
$$\rightarrow \frac{2,0}{1,33} = n_2 \rightarrow 1,50 = n_2$$

Grupo 6

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



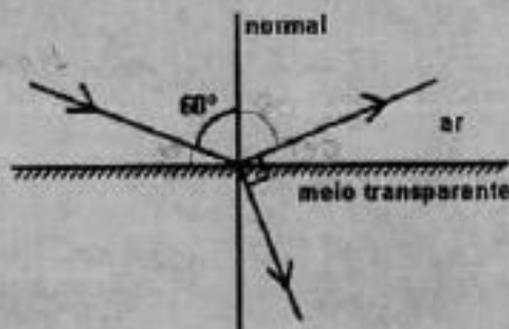
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

$$\frac{2,0}{n_2} = \frac{0,80}{0,60} = 1,33 \quad n_2 = \underline{1,33 \cdot 2,0}$$

$$n_2 = \frac{2,0}{1,5} = 1,50$$

Grupo 7

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.

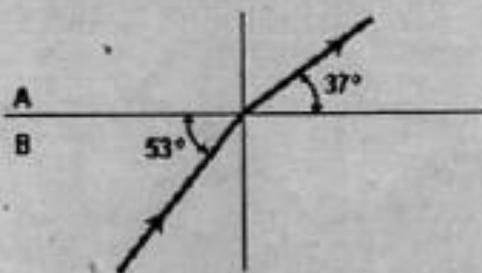


h) O que você entende por perpendicularidade?

que não a algo com a
- algo proporcional

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{0,87 \cdot 10^8}{1} = v_2 = 0,87 \cdot 3 \cdot 10^8 = \frac{3 \cdot 10^8}{0,87} = 2,62$$

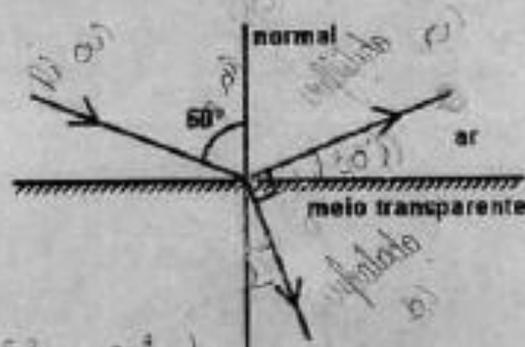
- 2) Na figura adjacente, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{2,0}{n_2} \cdot \frac{0,60}{0,80} = n_2 = 2,0 \cdot \frac{0,60}{0,80} = n_2 = \frac{1,2}{0,80} = 1,5$$

Grupo 8

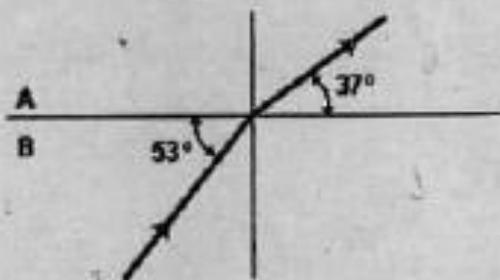
- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência 60°
 - ângulo de refração 30°
 - ângulo de reflexão 30°
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow 1 \cdot \sin 60^\circ = n \cdot \sin 30^\circ \Rightarrow n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{0,866}{0,5} = 1,732$$

3) duas retas que formam ângulos retos

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



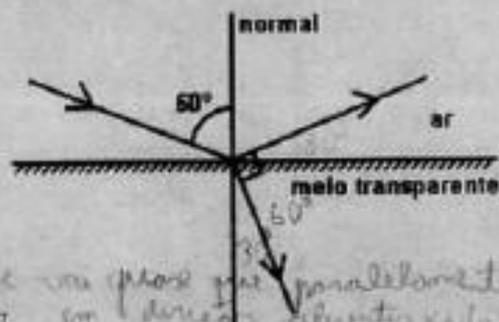
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow 2,0 \cdot \sin 53^\circ = n_2 \cdot \sin 37^\circ$$

$$n_2 = \frac{2,0 \cdot 0,80}{0,60} = 2,66$$

Grupo 9

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:

- a) raio incidente $0,87$
 b) raio refratado $0,15$
 c) raio refletido $0,5$
 d) ângulo de incidência 30°
 e) ângulo de refração 30°
 f) ângulo de reflexão 30°
 g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior. $1,75$
 h) O que você entende por perpendicularidade? *de uma fase que paralelamente no em direção opostas como em um ângulo de direção*



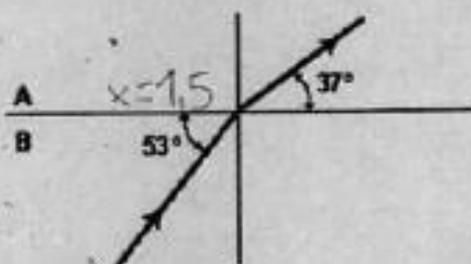
$$n = 1 \quad \text{sen} = 60^\circ = 0,87$$

$$\frac{1}{x} = \frac{0,5}{0,87} \quad \frac{1}{x} = 0,57 \quad 1 = 0,57x$$

$$\frac{1}{0,57} = x \quad x = 1,75$$

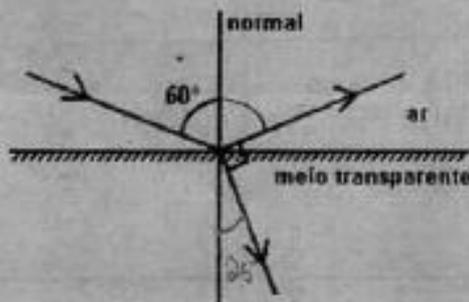
- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$

$$\frac{x}{2} = \frac{0,60}{0,80} \quad \frac{x}{2} = 0,75 \quad x = 0,75 \cdot 2 \quad x = 1,5$$

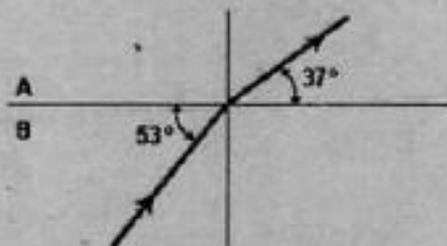


Grupo 10 – Não conseguiram fazer.

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- a) raio incidente
 - b) raio refratado
 - c) raio refletido
 - d) ângulo de incidência
 - e) ângulo de refração
 - f) ângulo de reflexão
 - g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - h) O que você entende por perpendicularidade?

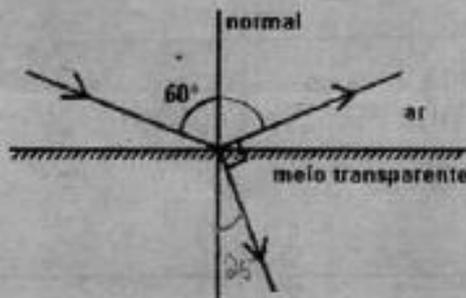


- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$

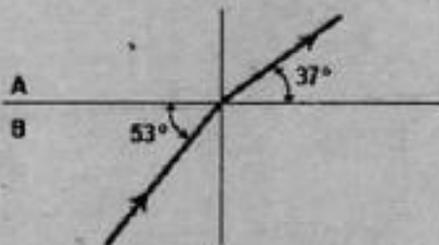


Grupo 11 – Não conseguiram fazer.

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- a) raio incidente
 - b) raio refratado
 - c) raio refletido
 - d) ângulo de incidência
 - e) ângulo de refração
 - f) ângulo de reflexão
 - g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - h) O que você entende por perpendicularidade?

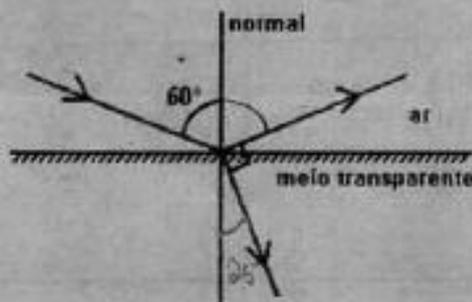


- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$

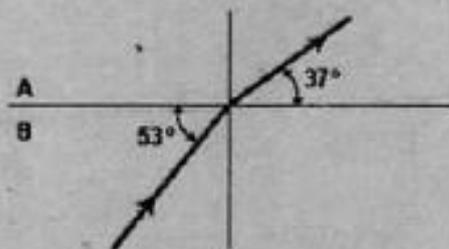


Grupo 12 – Não conseguiram fazer.

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- a) raio incidente
 - b) raio refratado
 - c) raio refletido
 - d) ângulo de incidência
 - e) ângulo de refração
 - f) ângulo de reflexão
 - g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - h) O que você entende por perpendicularidade?

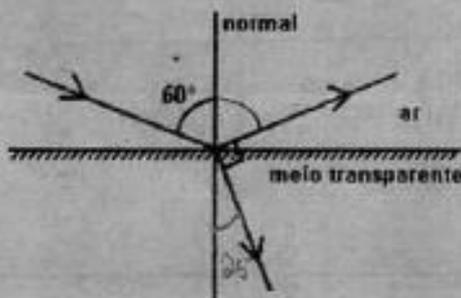


- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$

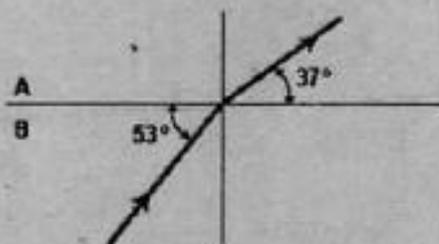


Grupo 13 – Não conseguiram fazer.

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- a) raio incidente
 - b) raio refratado
 - c) raio refletido
 - d) ângulo de incidência
 - e) ângulo de refração
 - f) ângulo de reflexão
 - g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - h) O que você entende por perpendicularidade?

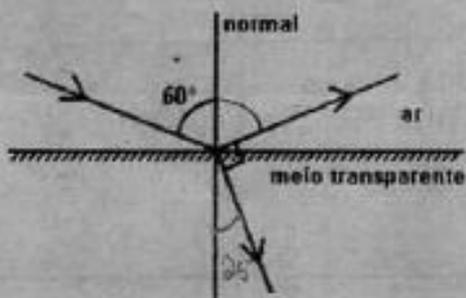


- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$

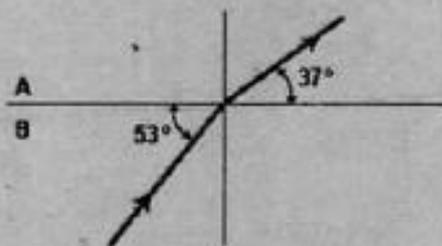


Grupo 14 – Não conseguiram fazer.

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- a) raio incidente
 - b) raio refratado
 - c) raio refletido
 - d) ângulo de incidência
 - e) ângulo de refração
 - f) ângulo de reflexão
 - g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - h) O que você entende por perpendicularidade?



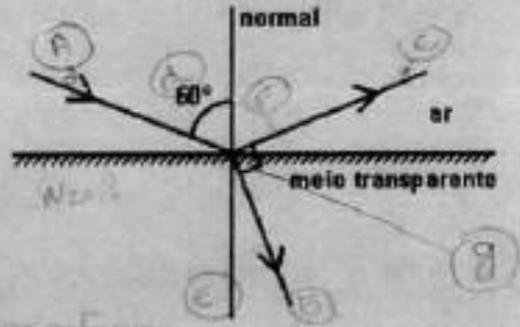
- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



APÊNDICE N – Desempenho da turma A na atividade aplicada.

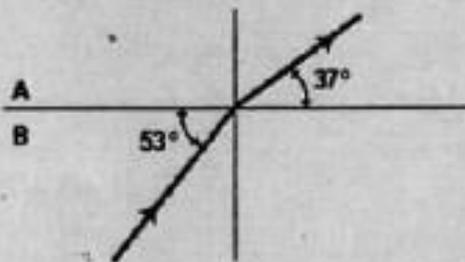
Grupo 1

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



a) Quando duas superfícies se intersectam formando um ângulo reto (90°).

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$.



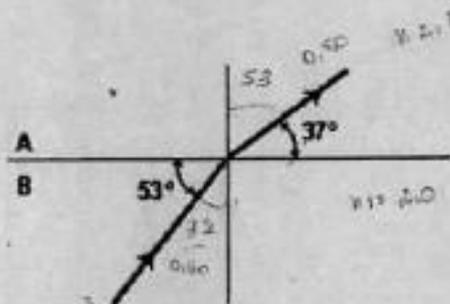
Grupo 2

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



h) São raios que se encontram e formam um ângulo reto

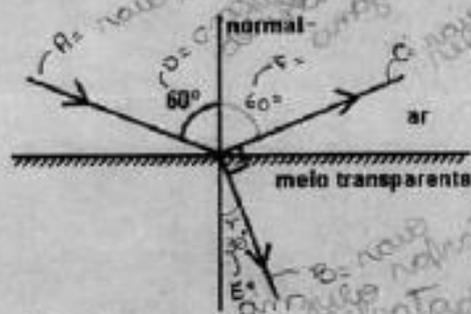
- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \Rightarrow \frac{2,0}{n_2} = \frac{\sin 53^\circ}{\sin 37^\circ} = \frac{0,80}{0,60} = 1,33 \Rightarrow n_2 = \frac{2,0}{1,33} = 1,50$$

Grupo 3

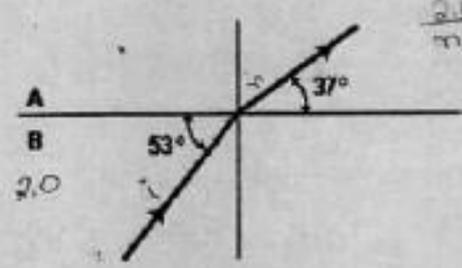
- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen } r}{\text{sen } i} \Rightarrow \frac{1}{n_2} = \frac{0,5}{0,87} \Rightarrow \frac{1}{n_2} = 0,57 \Rightarrow \frac{1}{0,57} = n_2 \Rightarrow n_2 = 1,75$$

$n_2 = 1,75$
 h é uma noção que indica se dois objectos (planos ou retos) fazem um ângulo de 90°

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$

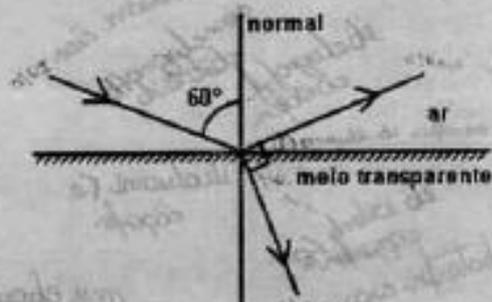


$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$$

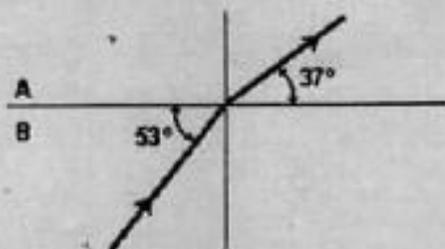
$$\frac{2,00}{n_2} = \frac{\text{sen } 53^\circ}{\text{sen } 37^\circ} \Rightarrow \frac{2,00}{n_2} = \frac{0,80}{0,60} \Rightarrow \frac{2,00}{n_2} = 1,33 \Rightarrow 2,00 = 1,33 \cdot n_2 \Rightarrow n_2 = \frac{2,00}{1,33} \Rightarrow n_2 = 1,50$$

Grupo 4

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?

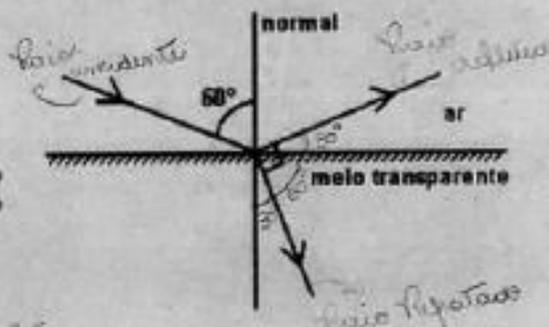


- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



Grupo 5

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura os:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência $= 60^\circ$
 - ângulo de refração $= 30^\circ$
 - ângulo de reflexão $= 30^\circ$
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



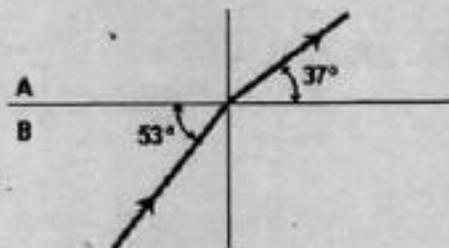
$$g) \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad \frac{1}{n} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} \rightarrow \frac{1}{n} = \frac{0,5}{0,5}$$

$$\frac{1}{n} = 0,5 \rightarrow n = 0,5 \cdot n_2 \rightarrow \frac{1}{0,5} = n_2$$

$$n_2 = 1,2$$

h) raios ortogonais que não estejam formando um ângulo de 90°

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{2,0}{n_2} = \frac{\sin 53^\circ}{\sin 37^\circ}$$

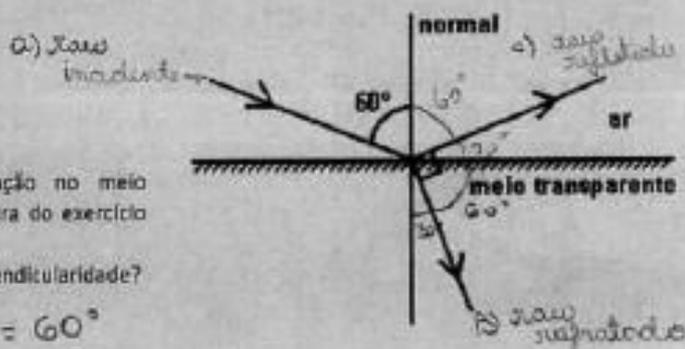
$$\frac{2,0}{n_2} = \frac{0,80}{0,60} \rightarrow \frac{2,0}{n_2} = 1,33$$

$$2,0 = 1,33 \cdot n_2 \rightarrow \frac{2,0}{1,33} = n_2$$

$$2,67 = n_2$$

Grupo 6

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refletido
 - raio refratado
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



1) ang de incidência = 60°

2) ang de refração = 30°

3) ang de reflexão = 60°

$$g) \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{\sin 30} = \frac{0,50}{0,87} \quad 0,87 = n_2 \cdot 0,50$$

$$\frac{0,87}{0,50} = n_2$$

$$n_2 = 1,74$$

4) Perpendicularidade é quando dois pontos formam um ângulo de 90° entre si, seja no ar ou no meio.

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin i}{\sin r} \quad \frac{2,0}{n_2} = \frac{0,60}{0,80}$$

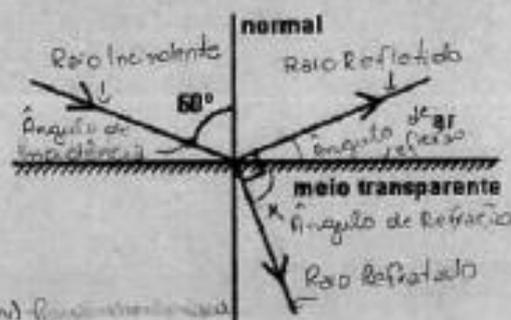
$$\frac{1,60}{0,60} = n_2 \quad 1,60 = n_2 \cdot 0,60$$

$$n_2 = 2,66$$

Grupo 7

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:

- raio incidente
- raio refratado
- raio refletido
- ângulo de incidência
- ângulo de refração
- ângulo de reflexão
- Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
- O que você entende por perpendicularidade?



$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

$$\frac{1}{n_2} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 90^\circ}$$

$$\frac{1}{n_2} = \frac{0,5}{1}$$

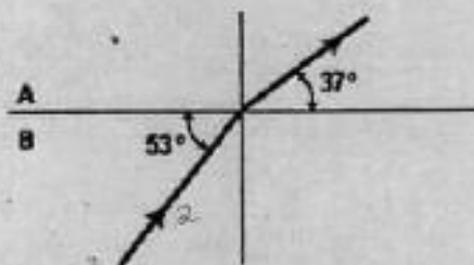
$$\frac{1}{n_2} = 0,5$$

$$n_2 = 2$$

$$\frac{1}{2} = n_2$$

o) Perpendicularidade é quando duas retas se encontram formando um ângulo reto.

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\frac{2}{n_2} = \frac{0,60}{0,80}$$

$$\frac{2}{n_2} = 0,75$$

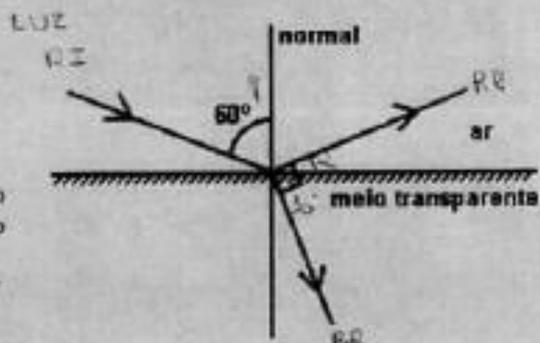
$$2 = 0,75 \cdot n_2$$

$$\frac{2}{0,75} = n_2$$

$$2,66 = n_2$$

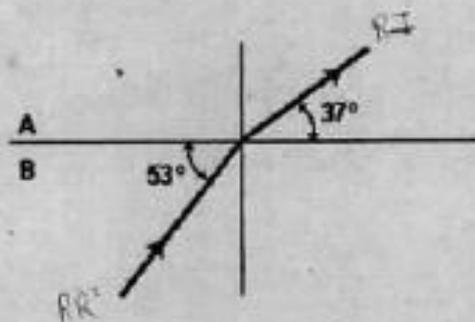
Grupo 8

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
- g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior. $3/2$
- h) O que você entende por perpendicularidade?



Quando dois semi-retas saem de um mesmo ponto em sentidos opostos, formando um ângulo de 90° com a normal, concluímos dizendo que são perpendiculares.

- 2) Na figura adjacente, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_2 \sin r}{n_1 \sin i} = \frac{2,00 \cdot 0,60}{1,00} =$$

$$\frac{1,20}{0,80}$$

$$1,5 = n_2$$

$$0,80 = 0,60 \cdot 2,00$$

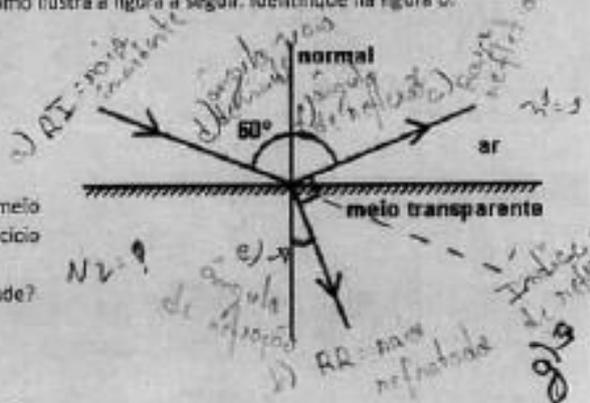
$$0,80 = 1,2$$

$$\frac{1,2}{0,80}$$

$$n_2 = 1,5$$

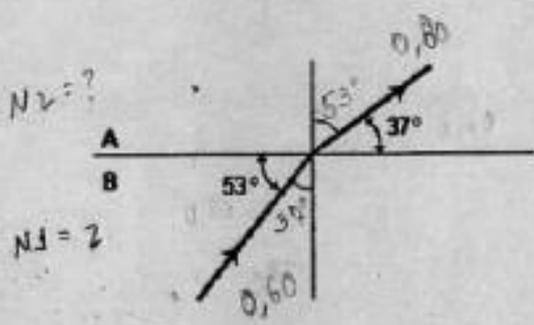
Grupo 9

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refletido
 - raio refratado
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



H) É quando retas se interceptam formando um ângulo reto (ângulo de 90°).

- 2) Na figura adjacente, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

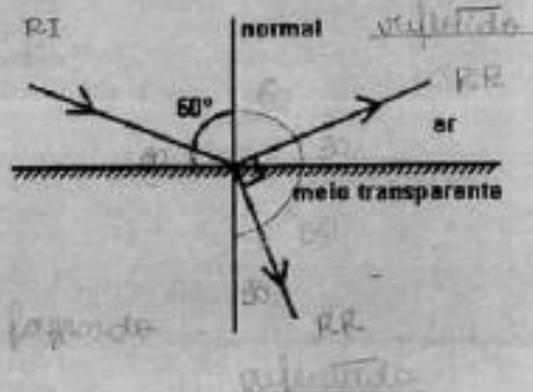
$$\frac{2}{n_2} = \frac{0,80}{0,60}$$

$$\frac{1,2}{0,80} = n_2$$

$$n_2 = 1,5$$

Grupo 10

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência = 60
 - ângulo de refração = 60
 - ângulo de reflexão = 60
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior. 3
 - O que você entende por perpendicularidade?

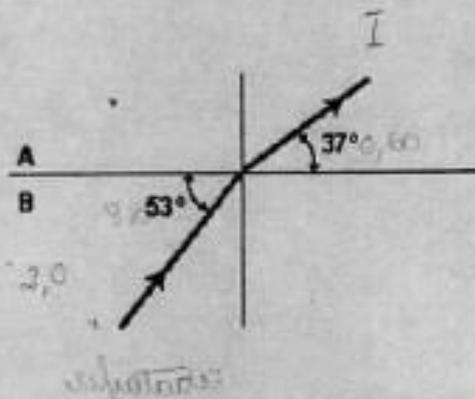


Quando 2 raios se cruzam formando um ângulo de 90°

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r$$

$$1 \cdot \sin 60 = n \cdot \sin 60$$

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin r}{\sin i}$$

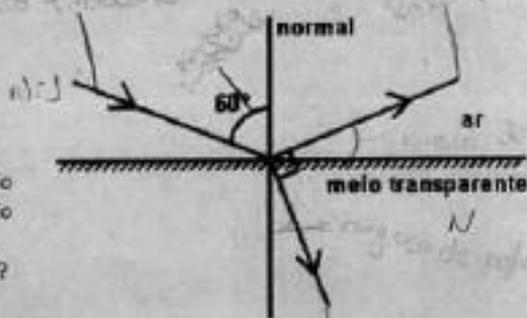
$$\frac{n_1}{2,0} = \frac{0,80}{0,60} = \frac{n_1}{1,5}$$

$$n_1 = 1,5 \cdot 2,0 = 3,0$$

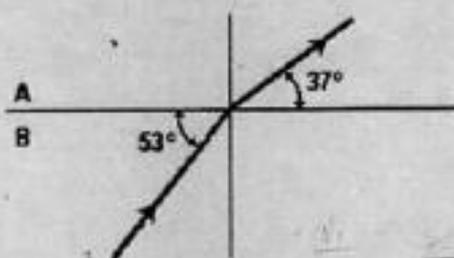
$$n_1 = 3,0$$

Grupo 11

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refratado
 - raio refletido
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?



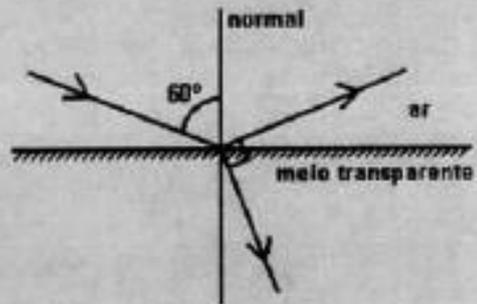
- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$



$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{0,60}{0,80} = 1,33$$

Grupo 12

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- raio incidente
 - raio refletido
 - raio refratado
 - ângulo de incidência
 - ângulo de refração
 - ângulo de reflexão
 - Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - O que você entende por perpendicularidade?

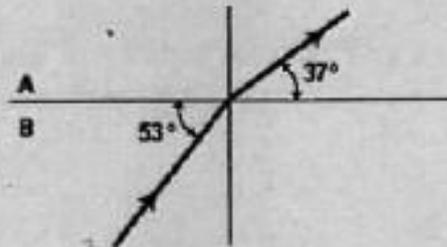


h) quando estão inclinados esbortamente.

- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$

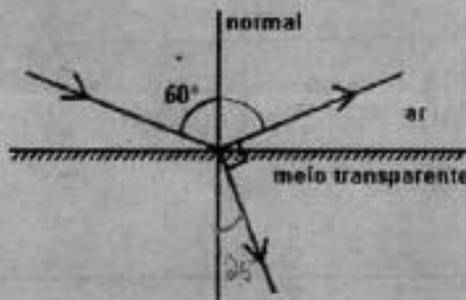
$$\frac{n_1 \sin i}{n_2 \sin r} = \frac{2,0 \sin 53}{n_2 \sin 37} = \frac{2,0 \cdot 0,80}{n_2 \cdot 0,60} = \frac{2,0}{n_2} = 0,75 \rightarrow 0,75 \cdot 2,0$$

$$n_2 = 1,5$$

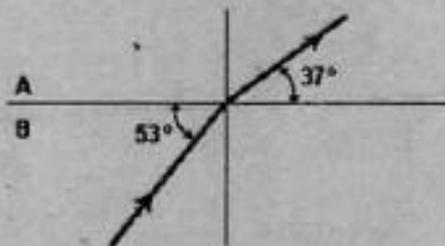


Grupo 13 – Não conseguiram fazer.

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- a) raio incidente
 - b) raio refratado
 - c) raio refletido
 - d) ângulo de incidência
 - e) ângulo de refração
 - f) ângulo de reflexão
 - g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - h) O que você entende por perpendicularidade?

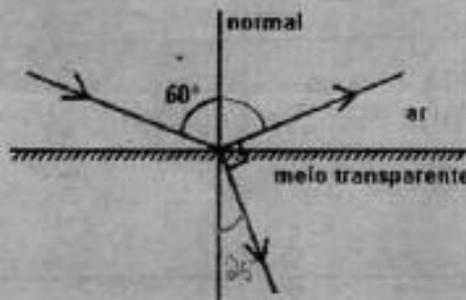


- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$

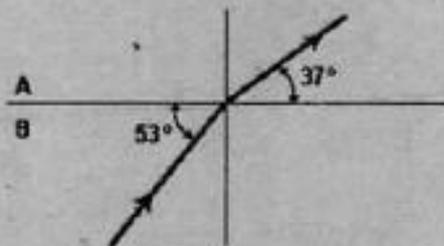


Grupo 14 – Não conseguiram fazer.

- 1) Um raio luminoso que se propaga no ar ($n_{\text{ar}} = 1$) incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:
- a) raio incidente
 - b) raio refratado
 - c) raio refletido
 - d) ângulo de incidência
 - e) ângulo de refração
 - f) ângulo de reflexão
 - g) Qual é o índice de refração no meio transparente indicado na figura do exercício anterior.
 - h) O que você entende por perpendicularidade?



- 2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\text{sen } 37^\circ = 0,60$; $\text{sen } 53^\circ = 0,80$



APÊNDICE O – Resposta da turma A sobre o questionário.

Nº	A aula sobre refração negativa lhe proporcionou algum interesse pela ciência, ou em saber mais sobre este fenômeno? Por quê?	Ter estudado refração negativa lhe ajudou a entender melhor o conceito de refração de um modo geral? Justifique.	Após a aula sobre refração negativa, se você visse em uma revista, jornal, TV ou internet, uma matéria que falasse sobre refração negativa ou outro tema da física contemporânea, você se interessaria pela notícia? E antes dessa aula?	Sabendo que o conceito de refração negativa não é tão explorado nos vestibulares, você seria a favor de descartá-lo das aulas de física, para dar mais ênfase naqueles conceitos que são exigidos nos vestibulares? Por quê?	Sendo a refração negativa um conceito ligado às novas tecnologias (física contemporânea), você é a favor que as aulas de física tenham mais enfoque na física contemporânea? Justifique a sua resposta.
01	Não, eu não fiquei mais interessada em aprender mais sobre a ciência, mas o assunto me deixou curiosa em saber como e onde a refração negativa pode ser usada futuramente.	Não.	Sim, eu prestaria atenção no noticiário e provavelmente lembraria da aula. E mesmo antes da aula eu me interessaria, pois é um tema que não é nunca abordado.	Penso que esse assunto deve ser abordado nas aulas, pois poderá surgir interesse nos alunos e assim o tema pode mais explorado.	Acho que seria bacana ter mais aula de física sobre assunto da física contemporânea, pois assim ficaríamos mais próximos da ciência e dependendo do assunto, poderia até surgir mais interesse da minha parte pela física.
02	Não, não tenho curiosidades sobre o assunto, apesar de ser algo interessante e bom de todos saber, não é algo que quero levar mais adiante.	Sim, as aulas de física ficaram meio chatas, foi complicado de entender no princípio mais ao passar das aulas foi ficando mais claro.	Não é um assunto que me interessa, passaria a notícia e procuraria algo que gosto.	Acho que não, mesmo não sendo algo que gosto é importante a gente saber e estudar sobre o assunto.	Acho que é legal a aula de física variar um pouco, afim muitas coisas envolve a física é legal variar a aula pra ela não ficar chata.
03	Sim, pois descobrimos	Ajudo, pois não sabia	Assistiria ou lia, mas antes		

	realmente como funciona certas coisas.	nada.	talvez não.		
04	Sim, quis saber mais sobre a ciência em geral não só pela refração negativa! Gostei desse assunto.	Sim, quando o professor deu o exemplo que o índio para pescar atira no “espírito” do peixe mais não sabe o porque. A partir desse assunto eu me intedressei.	Não iria me interessar, mais depois da aula acho que sim, porque quando ouço algum tema que estou estudando fora da escola me interessa.	Sim, porque acho que a escola ainda mais no ensino médio é um preparatório para os vestibulares e consequentemente pelas faculdades. Quem se interessar nesse assunto poderia fazer um curso ou até mesmo procurar na internet.	Se isso não prejudicar o futuro do restante dos alunos sim! Mais acho que isso atrapalha um pouco o ensino.
05	A aula foi bem legal, mas não me fez ter interesse.	Mai ou menos, eu não entendi algumas coisas.	Se fosse um assunto que eu gostasse, eu me interessaria pelo assunto. Agora antes das aulas não, pois não entender nada.	Não, apesar dele não ser explorado nos vestibulares o assunto é interessante e legal de se saber, apesar das contas serem difíceis o assunto é legal.	Pra mim tanto faz, se for um assunto que eu saiba está ótimo.
06	Sim, porque eu teria interesse em saber como os cientistas trabalham com isso, queria saber mais sobre esse fenômeno, mas não é muito fácil de se entender.	De um modo geral não muito, mas algumas coisas sim, algumas coisas eu acabo esquecendo as vezes.	Eu ficaria pensando sobre o assunto que o professor falou sobre a refração negativa ou outro tema de física contemporânea. Se passar em tv sobre algo de refração negativa ou algo do tipo eu me interessaria sobre a notícia, mas só se eu não estivesse ocupado ou se não estivesse passando algo melhor e mais interessante.	Sim, eu descartaria das aulas por ser uma matéria que não é muito fácil de se entender.	Não sei.

07	Sim. Isso me fez questionar sobre as lentes de óculos, por exemplo. Mas, o mais interessante foi a possibilidade de deixar algo invisível.	Me ajudou a entender como certas coisas são feitas, e as que ainda podem ser inventadas, utilizando esse tema da física.	Me interessaria antes e depois dessa aula, pois isso já mudou o mundo e as nossas vidas (óculos de grau etc.), e ainda irá mudar muito as coisas	Não necessariamente, pois qualquer ensinamento é sempre bem-vindo. Mas, se o objetivo fosse apenas passar nos vestibulares, acredito que outro tema poderia ser trabalhado.	Sim, pois podemos usar esses ensinamentos para mudar/inventar novas utilidades para essas novas tecnologias.
08	Eu sempre tive muito interesse pela física não exatamente por causa da refração negativa, até porque não prestei muita atenção na matéria.	Refração é um assunto muito complexo e a partir do momento que eu comecei a não entender parei de prestar atenção, por isso não entendi refração negativa.	Sim, e prestaria o máximo de atenção possível. Antes da aula também porque adoro esse tipo de coisa.	Daria mais ênfase nos outros assuntos mais mesmo assim gostaria de estudar refração negativa.	Sim pois é muito interessante e é sempre bom aprender coisas novas.
09	Não muito. Há alguns assuntos sobre física que me interessa, mas não refração negativa, pois não é um assunto que me interesse, que eu mesma pesquisaria sobre isso.	Pra ser sincera, eu só entendi o básico sobre o assunto. Por exemplo, eu entendi a teoria, o conceito, mas entendo muito sobre como executar as contar para obter tais resultados.	Sim, mas só se me chamasse muito a atenção, pois não é um assunto que me interessa.	Não, pois se está sendo aplicado como conteúdo em sala de aula, é porque o assunto é interessante para nosso conhecimento, mesmo que não seja tão importante.	Sim, mas deveriam ter mais experiências físicas, pois é fazendo que realmente aprendemos e ficar só na teoria com o tempo fica desinteressante.
10	Sim, despertou um interesse maior sobre a ciência e seus fenômenos, pois achei muito interessante coisas relacionadas do tipo.	Sim, desvendou até dúvidas que eu tinha anteriores.	Sim, pois agora é algo que eu conheço então seria mais legal, diferente de antigamente.	Não, aprender sobre coisas novas é sempre melhor.	Sim, tem que deixar um pouco de lado a física clássica.
11	Não, porque eu quase	Mais ou menos, tive	Não, também não pois eu	Não, porque tudo tem o	Sim, como eu disse

	não entendi.	dificuldade de entender algumas coisas.	não gosto/não entendo muito física/ciência.	seu motivo ou importância.	acima tudo tem o seu motivo ou importância.
12	Interesse pela ciência não, mas iria procurar entender sobre esse assunto, “fenômeno”.	Sim, porque refração não é só em coisas de física mas sim no mundo inteiro, como acontece no Sol isso é refração.	Sim eu me interessaria, mas não com aquela vontade (nossa, que notícia sensacional). Iria só ler e entender.	Não, deveria aprender refração negativa, mas mantendo o foco no assunto que cai em vestibular. Aprender tudo no tempo certo!	Sim, porque você vai aprender o que está acontecendo agora, “atualidade”, mas é bom aprender todas as “físicas” mas foca no que está acontecendo agora.
13	Sim, eu gostei bastante tive o interesse, mas algumas coisas não entendi muito bem.	Não muito, apesar do professor ter explicado muito bem e várias vezes algumas coisas não entraram na minha cabeça.	Depois da aula que tive até me interessaria, mas antes não.	Não, mesmo que não seja muito usados nos vestibulares é um assunto legal de se estudar.	Sim, pois é bom aprender física, por mais que algumas coisas não entrem na cabeça é bom.
14	Sim, proporcionou um interesse em saber mais a respeito do assunto, porque quero saber como funciona melhor a luz de um meio mais denso que o outro.	Sim, me deu uma noção do que é refração negativa.	Eu ia parar de fazer o que eu estou fazendo para ver a notícia. Mas antes dessa aula não ia me interessa.	Não, porque nós precisamos estudar a tecnologia de agora, a tecnologia que vai ser estudada no futuro.	Sim, é a tecnologia que está sendo usada no momento.
15	As aulas sobre refração negativa me despertaram curiosidade e interessa sobre o assunto, pois, por ser algo ainda desconhecido por mim, eu queria saber o que era, qual a sua função, etc.	Mais ou menos. Eu entendi o conceito de refração, porém não entendi para que ela serve.	Eu só tive interesse por refração negativa após ter uma aula sobre a mesma. Antes disso, eu jamais me interessaria a assistir ou ler algo sobre o assunto.	Não. Mesmo não sendo um assunto muito explorado, é interessante saber mais sobre refração negativa para, quem sabe, no futuro, um de nós descobriremos para que ela pode ser usada em função da sociedade.	Sim. Pois a física contemporânea é o que estamos vivendo agora, nossa tecnologia atual.
16	Sim, pois é interessante	Sim, grande parte do	Sim, não.	Não, pois quanto mais	Sim, pois estaríamos

	saber como as coisas funcionam, ou o que ocorre até chegar a tal resultado.	que foi dito nas aulas eu consegui entender sobre refração negativa.		conhecimento melhor. Porém devemos ter foco redobrado nos assuntos que sabemos que caem com mais frequência para nos garantir.	ganhando conhecimento.
17	Sim, pois é uma coisa que não é encontrada na natureza e pode proporcionar tanto coisas positivas quanto negativas. Saber como e porque isso funciona nas pessoas que iram descobrir cada vez mais coisas sobre esse assunto.	Sim, existem diversos tipos de refração e entender como um objeto pode refletir negativamente a luz ajuda de certa forma a entender como as outras funcionam.	Sim, após a aula eu ficaria mais interessado em saber desse assunto uma vez que foi passado em sala de aula e se tornou um assunto de meu conhecimento. Antes dessa aula, provavelmente eu não daria muita bola já que poderia ver outra baboseira sem sentido que se passa na tv.	Não, nem tudo é passar no vestibular; apresentar um conteúdo novo é interessante como esse que é de pouco conhecimento e pouco apresentado hoje em dia é INCRÍVEL, uma vez que provavelmente morreria sem saber desse conteúdo. Aprender conteúdo de vestibular eu posso aprender em qualquer lugar.	Sim, aprender u conteúdo pouco divulgado na mídia e de pouco conhecimento como esse é bem mais interessante quando comparado com tecnologia “antiga”, cujo o pode encontrar informações em qualquer lugar.
18	Me proporcionou interesse, pois é algo de gerações futuras. Ao conseguirem desvendar o que é, e como usá-la o avanço tecnológico seria grande. Como o professor diz é apenas um recém-nascido e saber que pode ser eu que descubra para que é útil refração negativa é prazeroso.	Sim, eu entendo refração na teoria mas na prática não.	Me interessaria antes e depois da aula, pois o assunto em si é curioso.	Não, pois é um conteúdo que deve ser estudado, pela importância que ele pode ter na sociedade.	Sim, pois o foco seria maior que a física clássica ou moderna, nós temos que estudar novas tecnologias, o que já foi descoberto já nos pertence.

19	Sim. Pois esse tipo de ciência é usado e visto no dia-a-dia.	Sim, pois caiu uma questão no vestibular.	Me interessaria pelas duas formas. Uma para aprender e outra para relembrar a matéria.	Não acho que deve ser abolido. Todos deveriam conhecer um pouco dessa ciência.	Sim, eu acho bom estudar física contemporânea pois esse tipo de matéria pode cair em vestibulares.
20	Sobre refração negativa, não tenho muito interesse em me aprofundar no assunto, mas sim proporciona interesse pela ciência, não me chamou muito a atenção o assunto.	Sim, ajudou de um modo geral, não entendi 100% por falta de atenção, mas deu para entender.	Sim, me interessaria pois gosto de sempre aprender coisas novas, até mesmo se fosse antes da aula.	Eu sou contra o descarte, pois é algo relevante e seu devido interesse, sendo não descartável.	Sim, porém tem que ter física moderna e talvez um pouco de física quântica.
21	Sim, pois este fenômeno nos ajuda a entender melhor sobre o que já sabemos e o que ainda nem imaginamos saber em relação a luz, uma das ondas mais estudadas pela ciência, em especial pela física.	Ajudou bastante pois a refração negativa antes desconhecida nada mais é do que um complemento da refração de um modo geral, nos proporcionando novas descobertas sobre estes fenômenos.	Chamaria muito a minha atenção, mesmo antes das aulas pois gosto muito da física contemporânea.	Não, pois na minha opinião os conceitos estudados nas aulas vão muito além de um bom resultado no vestibular, esses conceitos como a refração negativa são assuntos a serem estudados, ensinados e compreendido por todos.	Sim pois essa é a nossa realidade e das novas gerações, porém a física clássica não pode ser deixada de lado pois nela que se encontra toda a base da física.
22	Sim, por que a refração negativa está relacionado com a tecnologia, por isso tem o interesse em saber mais sobre esse fenômeno.		Sim, por que as tecnologias de hoje em dia tem haver com refração negativa e isso é muito interessante.	Não, por que o conceito de refração negativa está ligado as novas tecnologias de hoje, eu não seria a favor de descartar as aulas de física para dar mais ênfases nos conceitos de vestibulares.	Sim por que a refração negativa está ligado as novas tecnologias por isso que as aulas de física poderia ter meia enfoque na física contemporânea que está sendo estudado hoje.

23	Sim, porque acho esses tipos de coisa interessante.	Não, porque isso nunca entrou na minha mente, pois mas que acho interessante.	Sim, mas antes não porque achava coisa de louco.	Sim, por mas que seja um assunto bom não ia querer, ia dar preferência ao assunto do vestibular.	Sim, porque são coisas estudadas hoje em dia.
24	Não, apesar de ser uma aula interessante e chamativa não me traz interesses em me aprofundar no assunto.	Mais ou menos, não me interessei muito pelo assunto e não presti muita atenção nas aulas.	Depois de saber e entender o assunto eu até me prestaria a ler ou entender um pouco mais, mais antes de ter a aula meu não me interessaria pelo assunto.	Sim, porque eu acho que devíamos estudar mais sobre temas de vestibulares para sermos preparados lá pra fora.	Sim, porque se trata do presente onde podemos aprender e entender mais sobre o que acontece na ciência e não ficamos por fora no futuro.
25	Não, pois não me interesse por esse tipo de assunto.	Sim.	Não, muito menos antes.	Sim, pois é o que será explorado no futuro tem que ser mais visto pra nos ajudar.	Sim, pois é o assunto que mais iria ajudar os alunos a passa nas provas importantes.
26	A aula de refração negativa me ajudou a gostar de ciência.	Se alguém perguntar para mim eu não sei explicar.	Não.		Sim. Porque física contemporânea é impor.
27	Eu não tenho interesse em saber mais sobre esse assunto, por mais que seja muito interessante.	Foi complicado entender esse assunto, pois não gostei muito da matéria.	Depois da aula poderia até surgir uma curiosidade ou interesse, porém se fosse antes dessa aula, se eu visse não me interessaria, porque gosto da matéria, mais não esse assunto.	Sim, pois a física em relação a outros conteúdos é muito interessante, mais especificamente esse conteúdo eu não gostei.	Não, eu prefiro a física moderna que aborda assuntos mais interessantes e que tenho curiosidade, aulas com experiências também seriam legais.
28	O assunto em si, é interessante, mais eu não tenho curiosidades em saber o assunto mais a fundo.	Não. Eu não compreendi muito bem esse assunto, foi a matéria que eu menos gostei de todos os bimestres.	Pode ser que surgisse talvez algum interesse depois de ter tido essas aulas, mas caso contrário, não iria dar toda atenção para o assunto, não que o professor seja ruim, mas o	Sim. Pois a física em relação a outros conteúdos é muito interessante, mas especificamente esse conteúdo eu não vou levar para mim.	Eu prefiro a física moderna, e aulas com experiências, pois assim, conseguimos interagir mais, e ter cada vez mais curiosidades, porque

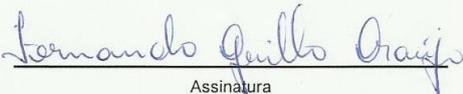
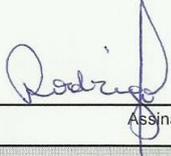
			assunto em si não me interessa.		assim nós vemos, ao invés de imaginar, é isso que torna a física mais interessante.
29	Sim, eu sinceramente não sei o porque, mais com certeza isso ajudou a ciência para saber mais sobre esse fenômeno.	Sim, porque foi com ele que eu acertei uma questão no ENEM.	Sim, eu me interessaria de todas as vezes, isso é algo que muitos duvidaram que existiria, e olha só, isso está bombando hoje em dia, como por exemplo a capa da invisibilidade que só se via em filmes em geral, mas hoje pode ser fazer a capa da invisibilidade até na escola, basta saber fazer e ter os materiais necessários.	Não, porque esse fenômeno não é só estudado em escolas mais sim faz parte da nossa vida.	Sim, para nós alunos, ficarmos mais ligados nas tecnologias que estão surgindo atualmente.

ANEXO 1 – Folha de rosto para pesquisa envolvendo seres humanos



MINISTÉRIO DA SAÚDE - Conselho Nacional de Saúde - Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP

FOLHA DE ROSTO PARA PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS

1. Projeto de Pesquisa: A FÍSICA MODERNA: UM OLHAR PARA O MUNDO		2. Número de Participantes da Pesquisa: 40	
3. Área Temática:			
4. Área do Conhecimento: Grande Área 1. Ciências Exatas e da Terra			
PESQUISADOR RESPONSÁVEL			
5. Nome: Fernando Grillo Araújo Grillo Araújo			
6. CPF: 268.863.998-61		7. Endereço (Rua, n.º): BENTO SABINO DOS REIS VILA EMA 435 SAO PAULO SAO PAULO 03277000	
8. Nacionalidade: BRASILEIRO		9. Telefone: (11) 2024-4291	10. Outro Telefone:
		11. Email: grillo.1979@hotmail.com	
12. Cargo:			
<p>Termo de Compromisso: Declaro que conheço e cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas complementares. Comprometo-me a utilizar os materiais e dados coletados exclusivamente para os fins previstos no protocolo e a publicar os resultados sejam eles favoráveis ou não. Aceito as responsabilidades pela condução científica do projeto acima. Tenho ciência que essa folha será anexada ao projeto devidamente assinada por todos os responsáveis e fará parte integrante da documentação do mesmo.</p>			
Data: <u>09</u> / <u>12</u> / <u>2014</u>		 Assinatura	
INSTITUIÇÃO PROPONENTE			
13. Nome: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DE SAO PAULO		14. CNPJ: 10.882.594/0002-46	15. Unidade/Órgão:
16. Telefone: (11) 2763-7516		17. Outro Telefone:	
<p>Termo de Compromisso (do responsável pela instituição): Declaro que conheço e cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/12 e suas Complementares e como esta instituição tem condições para o desenvolvimento deste projeto, autorizo sua execução.</p>			
Responsável: <u>RODRIGO CARVALHO SPONCHIADO</u>		CPF: <u>179987678-04</u>	
Cargo/Função: <u>Assessoria de Pesquisa (APP-SP)</u>			
Data: <u>09</u> / <u>12</u> / <u>2014</u>		 Assinatura	
PATROCINADOR PRINCIPAL			
Não se aplica.			

ANEXO 2 – Autorização da escola para realização da pesquisa



São Paulo, 12 de Dezembro de 2014.

Ao
Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Amazonas – CEP/UFAM
A/c. Prof. MSc. Pedro Rodolfo Fernandes da Silva
Coordenador do CEP/UFAM

Autorização para realização de pesquisa

Eu, **Márcia Pinheiro dos Santos Cordeiro**, diretora da **Escola Estadual Professor Luiza Mendes Correia de Souza**, venho por meio desta informar a V. Sa. que autorizo o(a) pesquisador(a) **Fernando Grillo Araújo** aluno(a) do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP**, a realizar/desenvolver a pesquisa intitulada **"Física Moderna: Um olhar para o mundo"**, sob orientação do Prof.(a). Dr. (a). **Gustavo Isaac Killner**.

Declaro conhecer e cumprir as Resoluções Éticas Brasileiras, em especial a Resolução CNS 196/96. Esta instituição está ciente de suas co-responsabilidades como instituição co-participante do presente projeto de pesquisa, e de seu compromisso no resguardo da segurança e bem-estar dos sujeitos de pesquisa nela recrutados, dispondo de infra-estrutura necessária para a garantia de tal segurança e bem estar.


Márcia P. S. Cordeiro
RG: 24634056-3
Diretora de Escola

Márcia Pinheiro dos Santos Cordeiro

ANEXO 3 – Termo de consentimento de livre esclarecimento

Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Comitê de Ética em Pesquisa

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado para participar da pesquisa sobre o **conceito moderno de luz**. Você foi selecionado pelo fato de ser um cursista da segunda série do ensino médio regular desta unidade escolar, e sua participação não é obrigatória. A qualquer momento você pode desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a escola. Os objetivos deste estudo são: O avanço dos indicadores de aprendizagem no tema pesquisado, e fazer um mapeamento através das relações entre o conceito moderno de luz e o cotidiano através de uma sequência didática. Sua participação nesta pesquisa consistirá em: Participar das aulas expositivas sobre o tema conceito moderno de luz; responder as questões específicas do tema de estudo, participar das atividades propostas, e por fim responder o questionário de opinião sobre a atividade desenvolvida. Os riscos relacionados com sua participação são mínimos tendo em vista que estão sendo observadas as determinações da NORMA OPERACIONAL Nº 001/2013 do Conselho Nacional de Saúde. Os benefícios relacionados com a sua participação são: A oportunidade de construir conhecimentos de Física através do conceito moderno de luz, ser um protagonista na construção de uma nova metodologia de ensino, aliado com uma possível compreensão melhor sobre a física moderna, além de contribuir par um melhor ensino de física moderna na escola. As informações obtidas através dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação. Os dados não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação (informar, de acordo com o método utilizado na pesquisa, como o pesquisador protegerá e assegurará a privacidade e, caso haja possibilidade de identificação, fazer outro texto esclarecedor). Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço institucional do pesquisador principal e do CEP, podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento.


Dr. Gustavo Isaac Kiling
Orientador

E-mail: gisaack@usp.br

Rua Pedro Vicente, 625 Canindé – São Paulo/SP
Telefone: (11) 2763-7567 (coordenação do curso)

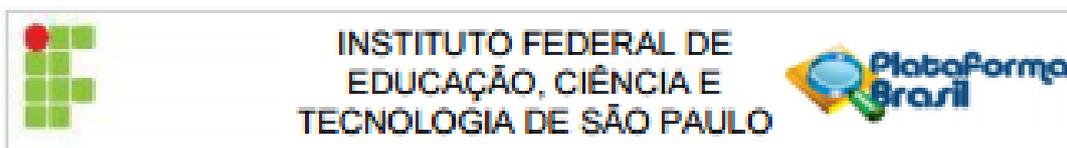

Fernando Grillo Araújo

Estudante de Pós-Graduação – Mestrado Profissional

E-mail: grillo.1979@hotmail.com

Rua Pedro Vicente, 625 Canindé – São Paulo/SP

ANEXO 4 – COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO



COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: A FÍSICA MODERNA: UM OLHAR PARA O MUNDO
Pesquisador: Fernando Grillo Araújo Grillo Araújo
Versão: 3
CAAE: 40050214.9.0000.5473
Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DE SAO PAULO

DADOS DO COMPROVANTE

Número do Comprovante: 116613/2014
Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Informamos que o projeto A FÍSICA MODERNA: UM OLHAR PARA O MUNDO que tem como pesquisador responsável Fernando Grillo Araújo Grillo Araújo, foi recebido para análise ética no CEP Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP em 17/12/2014 às 16:49.

Endereço: Rua Pedro Vicente, 625
Bairro: Cantinô **CEP:** 01.109-010
UF: SP **Município:** SAO PAULO
Telefone: (11)3775-4665 **Fax:** (11)3775-4570 **E-mail:** cep_ifsp@ifsp.edu.br

ANEXO 5 – COMPROVANTE DE ACEITE DO PROJETO

DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

– DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: A FÍSICA MODERNA: UM OLHAR PARA O MUNDO

Pesquisador Responsável: Fernando Grillo Araújo Grillo Araújo

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 40050214.9.0000.5473

Submetido em: 10/06/2015

Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DE SAO PAULO

Situação da Versão do Projeto: Aprovado

Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio



O CONCEITO DE LUZ NO ENSINO MÉDIO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

THE LIGHT CONCEPT IN THE HIGH SCHOOL: A LITERATURE REVIEW

Fernando Grillo Araújo¹, Alex de Souza Braga², Gustavo Isaac Killner³

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
E-mail: fernandogrillo.1979@gmail.com

Resumo

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão dos artigos apresentados nos Simpósios Nacionais de Ensino de Física, dos últimos dez anos, a fim de analisar as publicações que trouxeram alguma sequência didática ou proposta de atividade, sobre temas relacionados com o fenômeno da luz, seja o modelo clássico ou o conceito moderno. O resultado mostra que embora os fenômenos de luz estejam bastante presentes no cotidiano e envolvam muitos conceitos de física, principalmente de física moderna, ainda são pouco explorados nas escolas. Nas sequências analisadas, as estratégias de desenvolvimento das atividades, na sua maioria, trazem propostas práticas (experimentos) e o método de avaliação é voltado para aplicação de questionário. Por fim, também é observado que grande parte dos trabalhos não apresenta resultados quanto ao aprendizado do aluno, servindo apenas como uma atividade que pode contribuir com o trabalho do professor em aula.

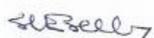
Palavras-Chave: revisão bibliográfica, sequência didática, física moderna, conceito de luz.

ANEXO 7 – Aceitação do artigo

X ENPEC 2015

Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências

Certificamos que o trabalho intitulado **O CONCEITO DE LUZ NO ENSINO MÉDIO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** de autoria de **FERNANDO GRILLO ARAÚJO E GUSTAVO KILLNER** foi apresentado no **X ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, realizado em **Águas de Lindoia**.



SANDRA SELLES
Presidente da ABRAPEC
Comissão Organizadora X ENPEC



AGUSTINA ECHEVERRIA
Secretária da ABRAPEC
Comissão Organizadora X ENPEC

Águas de Lindoia, 24 a 27/11/2015

