



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



Efeito da diabetes na visão como motivadora para ensino da Lei de Refração.

Cristiane Rennó Ribeiro Gomes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Lúcia Helena Coutinho

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

**Efeito da diabetes na visão
como motivadora para ensino da Lei de Refração.**

Cristiane Rennó Ribeiro Gomes

Orientadora: Lúcia Helena Coutinho

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dra. Lúcia Helena Coutinho (Presidente)

Dr. Hugo M. R. de Luna

Dra. Grazieli Simões

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

GG633e Gomes, Cristiane Rennó Ribeiro
Efeito da diabetes na visão como motivadora para ensino da Lei de Refração. / Cristiane Rennó Ribeiro Gomes. – Rio de Janeiro, 2020.
88 f.
Orientadora: Lúcia Helena Coutinho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2020.

Referências Bibliográficas: f.70
1. Ensino de Física. 2. Refração. 3. Diabetes Mellitus.
I. Coutinho, Lúcia Helena. II. Efeito da diabetes na visão como motivadora para ensino da Lei de Refração..

Dedico essa dissertação ao meu pai in memoriam.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço aos meus professores do MNPEF, em especial a professora Marta Feijó Barroso pela compreensão e aprendizagem.

À orientadora, Lúcia Helena Coutinho, pela paciência e dedicação.

Ao professor Marcos Binderly Gaspar, pela contribuição.

Aos meus familiares.

Ao meu esposo pelo carinho e paciência.

Aos colegas do MNPEF pelas trocas de experiências.

E em particular aos diretores e professores do Colégio Estadual Dr. Albert Sabin, onde apliquei o produto desta dissertação, e a colega de mestrado Mara Desidério Quirino.

RESUMO

Efeito da diabetes na visão como motivadora para ensino da Lei de Refração.

Cristiane Rennó Ribeiro Gomes

Orientadora: Lúcia Helena Coutinho

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A influência dos índices glicêmicos na visão de pessoas com diabetes, como discutido no artigo de Charman et al. [1], motivou este trabalho que busca mostrar a alunos do ensino médio como a Física pode estar presente em outras áreas de conhecimento, como, por exemplo, na oftalmologia. Para tanto, propomos uma atividade experimental onde os alunos poderão medir índices de refração em soluções de açúcar, ao mesmo tempo em que visualizam o aumento no desvio do feixe refratado com o aumento na concentração. Construímos um prisma oco onde facilmente podem ser medidos índices de refração de líquidos com o uso de um apontador laser de baixo custo. Um refratômetro de Abbe foi utilizado para validar os dados obtidos com o prisma, em soluções de açúcar e de glicose. A aula foi aplicada em duas turmas de ensino médio, que foram posteriormente avaliadas com um teste. Em uma das turmas um pré-teste também foi aplicado. Os resultados destes testes, assim como uma análise crítica de seus resultados, serão apresentados.

Palavras chave: Ensino de Física, Refração, Diabetes Mellitus.

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2020

ABSTRACT

Effect of diabetes on Vision as a Motivator for Teaching the Refraction Law.

Cristiane Rennó Ribeiro Gomes

Supervisor: Lúcia Helena Coutinho

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The influence of glycemic index on the sight of people with diabetes, as discussed in the article by Charman et al. [1], motivated this work that seeks to show high school students how physics can be present in other areas of knowledge, as in, for example, ophthalmology. To this end, we propose an experimental activity in which students can measure refractive indices in sugar solutions, while also visualizing the increase in the refraction angle as the concentration increases. We have built a hollow prism where refractive indices of liquids can be easily measured using a low cost laser pointer. An Abbe refractometer was used to validate the data obtained with the prism in sugar and glucose solutions. The activity was applied in two high school classes, which were later evaluated by a written test. In one of the classes a pre-test was also applied. The outcomings of these tests, as well as a critical analysis of their results, will be presented.

Keywords: Physics education, Refraction, Diabetes Mellitus.

Rio de Janeiro
February 2020

Sumário

1	Introdução	1
2	Teoria da refração	5
2.1	História da ciência	5
2.2	Leis da reflexão e refração	8
2.3	Índice de refração	12
2.4	Estudos sobre óptica geométrica	16
2.5	Estudos em outros países	18
3	Óptica do olho humano	23
3.1	Estrutura fisiológica	23
3.2	Problemas de visão	27
3.3	Diabetes e visão	31
4	Metodologia	34
4.1	Abordagem dessa dissertação	34
4.2	Montagem do aparato	36
4.3	Procedimento	37
4.4	Procedimento com refratômetro de Abbe	39
4.5	Dados obtidos	40
4.6	Discussão dos resultados	42
5	Roteiro de experimentação	43
5.1	Roteiro do professor	43
5.1.1	Material	43
5.1.2	Objetivo	44
5.1.3	Introdução teórica	44
5.1.4	Procedimento experimental	47
5.1.5	Perguntas	49
5.2	Roteiro do aluno	51
5.2.1	Questionário pré teste	51

5.2.2	Procedimento	51
5.2.3	Questionário pós teste	52
6	Resultados	53
6.1	Turma 1	53
6.1.1	Observações	53
6.1.2	Análise dos resultados	55
6.2	Turma 2	60
6.2.1	Observações	60
6.2.2	Análise dos resultados	61
6.3	Análise gráfica dos resultados	65
7	Conclusão	67
	Referências bibliográficas	70
	Roteiro do Professor	73
A.1	Materiais utilizados	73
A.2	Montagem do Experimento	76
A.3	Roteiro de Experimentação	79
A.4	Material	79
A.5	Objetivo	79
A.6	Introdução Teórica	79
A.7	Procedimento experimental	84
A.7.1	Variando as concentrações de açúcar	84
A.7.2	Utilizando uma solução desconhecida de açúcar	84
A.8	Perguntas	85
	Roteiro do aluno	86
B.1	Introdução	86
B.2	Questionário Pré-teste	86
B.3	Procedimento Experimental	87
B.4	Tarefas	87
B.5	Questionário Pós-Teste	87

Lista de Figuras

2.1	Reflexão - caminho mais rápido.	10
2.2	Refração por Fermat.	10
2.3	Refração por Huygens.	12
2.4	Experimento de W. Siu e M. Se-yuen.	21
3.1	Estrutura Ocular.	26
3.2	Estrutura da Retina.	26
3.3	Miopia.	29
3.4	Hipermetropia.	30
3.5	Astigmatismo.	30
4.1	Desenho esquemático do prisma e do caminho percorrido pelo feixe de luz.	36
4.2	Açúcar 10%.	38
4.3	Glicose 30%.	38
4.4	Refratômetro de Abbe utilizado para as medidas.	39
5.1	Desenho esquemático do prisma e do caminho percorrido pelo feixe de luz.	46
5.2	Montagem experimental.	48
6.1	Gráfico Turma 1 - Pós teste.	65
6.2	Gráfico Turma 2 - Pré teste.	66
6.3	Gráfico Turma 2 - Pós teste.	66
A1	Prisma de Acrílico.	74
A2	Bastão de vidro.	74
A3	Colimador.	74
A4	Apontador Laser.	75
A5	Transferidor impresso.	75
A6	Montagem sem o prisma, o bastão e o apontador laser.	77
A7	Esquema montado com todos os elementos.	78

A8	Desenho esquemático do prima e do caminho percorrido pelo feixe de luz.	81
A9	Montagem experimental.	85

Lista de Tabelas

3.1	Índice de Refração.	25
4.1	Amostra de Açúcar	41
4.2	Amostra de Glicose	41
4.3	Tabela com resultados	41
5.1	Índices de refração da solução de açúcar a $20^{\circ}C$, $589,29\text{ nm}$ concentração % m/m	50
5.2	Tabela apresentada ao aluno	52
6.1	Tabela de respostas dos alunos da turma 1	55
6.2	Resultados para Pergunta 1	56
6.3	Resultados para Pergunta 2	57
6.4	Resultados para Pergunta 4	59
6.5	Resultados para Pergunta 5	60
6.6	Tabela de respostas dos alunos da turma 2	62
6.7	Resultados para Pergunta 1	62
6.8	Resultados para Pergunta 2	63
6.9	Resultados para Pergunta 4	64
6.10	Resultados para Pergunta 5	64
A1	Índices de refração da solução de açúcar a $20^{\circ}C$, $589,29\text{ nm}$ concentração % m/m	83
B1	Tabela apresentada ao aluno.	88

Capítulo 1

Introdução

O ensino de óptica geométrica parece simples por se tratar de um assunto onde existe poucos conceitos a serem aprendidos, porém esbarramos com uma característica muito peculiar nesse assunto: *não podemos ver os componentes que formam a luz, como a velocidade e a frequência*, isso dificulta aos alunos terem entendimento e desempenho satisfatório no momento do ensino e aprendizagem. Além disso, os alunos possuem pré-conceitos equivocados sobre o tema, adicionando mais um componente que vai dificultar o ensino da óptica na sala de aula.

Neste trabalho buscamos uma maneira de despertar o interesse do aluno ao aprendizado da teoria da refração, a partir da interdisciplinaridade com a química e a medicina. Um experimento simples será usado para mostrar a dependência do índice de refração com a concentração de açúcar em uma solução aquosa, fazendo um paralelo como problemas de visão em pacientes com *diabetes mellitus*.

Uma importante fonte de consulta utilizada foi a dissertação de E. Lopes [2], onde além de mostrar formas de medir o índice de refração em líquidos imersos pelo aumento aparente, apresenta também análises das concepções pré-existentes no estudo da óptica geométrica.

Uma característica da pesquisa bibliográfica realizada sobre o ensino da refração em diferentes países, é a observação das dificuldades que os alunos apresentam sobre a compreensão desse assunto. No estudo feito por M. John,

J.M. Molepo and M. Chirwa, na África do Sul pela Walter Sisulu University [3], concluiu-se que os alunos apresentavam concepções pré-existentes sobre os fenômenos da luz, e que os professores muitas vezes eram despreparados para lidar com isto. Comparando com outras fontes de consulta, por exemplo, um estudo realizado em na Grécia por Fyttas, G. and Komis, V. and Ravanis, K., [4] e outro realizado na Tailândia por Keawkhong, Emarat, Arayathanitkul, Soankwan e Chitaree [5], em ambos os alunos apresentaram alguma dificuldade em relacionar o fenômeno de refração com mudança na velocidade da luz ao atravessar de um meio para outro. Os resultados dos trabalhos apresentados nestes artigos serviram como base para a preparação de um plano de aula que será desenvolvido nesta dissertação. No capítulo 2 apresentamos uma breve recapitulação da história da óptica geométrica, onde são apresentados os principais estudiosos responsáveis pelo avanço das leis da reflexão e da refração. Além disso realizamos um estudo sobre como a óptica geométrica está sendo ensinada no Brasil e em outros países.

A proposta deste trabalho é ensinar de forma simples a Lei de Refração e sua dependência com o índice de refração. Para isto, usaremos como motivação um dos problemas de visão que acometem pacientes com *diabetes mellitus* devidos à hiperglicemia, a saber, a visão embaçada provisória. Este tema possibilita a interface com outras disciplinas, como a medicina, química e biologia. A interdisciplinariedade auxilia os alunos na compreensão do fenômeno da refração e na relação do tema com o seu dia a dia. A motivação sobre *diabetes mellitus*, traz ao estudante a oportunidade de verificar a importância de dietas livres de açúcares por pacientes com esta condição, para que sua visão seja preservada.

A influência da hiperglicemia na visão de pacientes com *diabetes mellitus* é conhecida e já foi tema de vários estudos ([1], [6], [7], [8], [9]). Neste trabalho vamos nos basear especialmente no estudo de Charman et. al. [1], que avalia as estruturas oculares para determinar onde deve ocorrer a alteração no índice de refração, para justificar os problemas transitórios de visão em pacientes com níveis glicêmicos alterados. Concluiu-se que a alteração ocorre no gradiente do índice de refração do cristalino, que durante período de hiperglicemia fica alterado, voltando ao normal após alguns dias de tratamento

e retorno dos níveis glicêmicos à normalidade.

A proposta deste trabalho é apresentar o tema a alunos do ensino médio através de uma aula prática, onde o índice de refração de soluções será medido. Para isto, será utilizado um prisma oco de 100 ml de volume, com ângulos de 30°, 60° e 90°, onde serão colocadas soluções de glicose e açúcar, em diferentes concentrações, para que os índices de refração possam ser medidos. No início da aula é necessário fazer uma introdução rápida sobre óptica geométrica, a óptica do olho humano e problemas de visão. O capítulo 3 desta dissertação é dedicado à óptica do olho humano, com os principais tópicos a serem abordados em sala de aula.

As medições do índice de refração das soluções de açúcar e glicose têm como objetivo simular o acúmulo de glicose na lente do olho de pacientes com *diabetes mellitus*. Começando com a solução menos concentrada, e seguindo para as de maior concentração de açúcar, os alunos vão observando o aumento no ângulo de refração, fazendo a associação com a formação da imagem no olho humano. Antes do experimento ser levado para a sala de aula, foram realizadas medidas em soluções de açúcar e glicose usando o método aqui proposto, com o prisma, e também com um refratômetro de Abbe. Os dados obtidos com o prisma foram próximos aos valores obtidos com refratômetro de Abbe, demonstrando que os resultados obtidos com prisma são válidos. Ao ser aplicado em sala de aula foi descartado a utilização de glicose, pelo fato de ser de difícil aquisição, por ser de uso hospitalar. No capítulo 4 apresentamos a metodologia realizada neste trabalho, onde apresentamos a montagem do experimento e todo procedimento realizado para a coleta dos dados.

No capítulo 5 apresentamos uma proposta de roteiros de experimentação do professor e do aluno. No capítulo 6 apresentamos os resultados da aplicação em sala de aula, e no capítulo 7 apresentamos nossas conclusões do trabalho.

Esta dissertação constitui-se de um produto e uma proposta de aplicação em sala de aula, que deverá ser aplicado a uma turma de ensino médio após uma aula expositiva. Neste produto são disponibilizados questionários pré e pós experimentação para que o professor analise o desempenho dos seus

alunos em óptica geométrica. No apêndice A descrevemos como deve ser realizada toda a montagem do experimento e como deve ser aplicado em sala de aula, enquanto no apêndice B apresentamos um roteiro para auxílio na aprendizagem de óptica geométrica.

Capítulo 2

Teoria da refração

Neste capítulo são apresentados os principais pontos da evolução do estudo da refração, bem como o estudo do ensino da Lei de Refração realizado tanto no Brasil quanto em outros países.

2.1 História da ciência

Ao longo da história observamos a importância do fenômeno da refração. Desde a antiguidade quando os povos pescavam, eles, por prática e intuição, pré determinavam onde os peixes se encontravam na água (diziam pescar a alma do peixe).

Vários filósofos ao longo dos séculos contribuíram para o avanço da óptica geométrica. Euclides¹ descreveu em seu tratado sobre óptica, que a luz partia dos olhos para os objetos, tendo sido o primeiro a notar que a luz viajava em linha reta e a descrever a Lei da Reflexão. Heron de Alexandria² mostrou geometricamente, em sua obra *Catóptrica*, que um raio de luz segue o caminho mais curto quando refletido por um espelho plano. Ptolomeu³ estudou a refração e sugeriu que o ângulo de refração fosse proporcional ao ângulo de incidência.

¹Matemático grego nascido em 325 A.C. em Alexandria, conhecido como o Pai da Geometria [10, 11].

²Matemático e mecânico grego nascido em 10 D.C. em Alexandria [11, 12].

³Astrônomo e geógrafo grego nascido em 90 D.C. no Egito sob domínio romano [11, 13].

Após vários séculos o cientista Ibnal-Haitham⁴ foi o primeiro a diferenciar luz e visão, indo contra a explicação de Ptolomeu sobre refração, dizendo que a sua validade era apenas para ângulos pequenos. Ele também discutiu a refração atmosférica e explicou o aumento aparente da Lua e do Sol no horizonte, bem como deu uma explicação sobre o funcionamento do olho humano.

A visão despertou a curiosidade de vários cientistas, que usavam a óptica geométrica para explicar como enxergamos. Eles propuseram várias explicações de como isso acontece, e hoje a que aceitamos é que os objetos são iluminados pela luz, e os prolongamentos dos raios luminosos do objeto atingem a córnea, e então a imagem é formada na retina [15].

O desenvolvimento da teoria da luz baseou-se em modelos mecânicos durante o século XVII. Esses modelos procuravam explicar, por meio de conceitos puramente mecânicos, as propriedades conhecidas da luz, como a propagação retilínea, a reflexão e a refração. Foi no século XVII que este modelo ganhou notoriedade com a publicação dos principais trabalhos de Galileu Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630), René Descartes (1596-1650), Blaise Pascal (1623-1662), Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke (1635-1703) e Isaac Newton (1642-1727) [16].

Nas últimas décadas do século XVII surgiram duas teorias que tiveram grande influência na história da óptica: as Teorias Corpuscular e Ondulatória, onde os principais cientistas foram Isaac Newton e Christiaan Huygens, respectivamente. Os fenômenos da óptica geométrica são compatíveis com a teoria corpuscular, que considera a luz como sendo formada por partículas discretas, os corpúsculos. A luz num meio homogêneo se propaga em linha reta, fenômeno explicado pela teoria corpuscular. Os corpúsculos deslocam-se em linha reta até interagir com os obstáculos. Dependendo das condições, esses corpúsculos podem ser refletidos, refratados, ou aquecer os objetos. Uma das vantagens de explicar a luz através de corpúsculos seria poder utilizar todas as Leis de Newton. A teoria ondulatória, por sua vez, não queria explicar a óptica geométrica, queria substituí-la, dando outra explicação para os

⁴Grande polímata, conhecido na Europa como Alhazen, nascido em 965 em Basra no Iraque, autor de "O Livro da Ótica" [11, 14].

fenômenos ópticos. Para isto, considerava que a luz se propagava como uma onda, e do mesmo modo que o som, necessitaria um meio material para se propagar. A Teoria Ondulatória se baseava em precisar de um meio material entre o objeto e o olho do observador. As ondas de luz nasceriam do movimento de cada ponto do objeto luminoso, caso contrário, não seria possível perceber todas as diferentes partes do objeto.

Robert Hooke acusava Newton de descrever a luz como uma substância material, ou seja, corpuscular. Hooke, um defensor da Teoria Ondulatória mecânica, publica sua *Micrographia* em 1665, na qual descreve suas observações microscópicas das "cores de lâminas delgadas", explicadas hoje como o fenômeno de interferência, e de difração, também descrito no livro de Francesco-Maria Grimaldi (1618-1663) [16].

Após vinte anos, a Teoria Ondulatória foi aprimorada pelo cientista holandês Christian Huygens (1629-1695), embora Hooke tivesse proposto um modelo de propagação transversal para a luz, Huygens, em comparação com as ondas sonoras, propôs um modelo de propagação longitudinal. No entanto, Huygens e seus contemporâneos não podiam imaginar um espaço completamente vazio, sem nenhuma matéria, eles imaginaram existir pelo espaço uma matéria muito sutil, chamada éter, na qual a luz se propagaria. Nenhum deles podia ver, sentir ou medir qualquer presença dessa matéria, mas para esses cientistas, ela era fundamental para explicar um universo sem vazios, e a matéria na qual as ondas luminosas se propagavam. Segundo Huygens, o éter luminífero seria um meio invisível, rarefeito e elástico,

Christian Huygens explicou em seu tratado sobre a luz de 1690, que quando a luz em um meio homogêneo passa em um orifício bem pequeno, as frentes de onda geram ondas secundárias, propagando-se com velocidades iguais às das ondas de origem. Ao obter a frente de onda em um momento posterior, Huygens propôs que cada onda secundária gerada não causaria efeito perceptível, seriam muito fracas, porém, se houvesse um somatório no limite de cada onda secundária, teriam efeito juntas. A trajetória do raio de luz seria limitado pelos raios da fonte, até o ponto do outro lado do orifício [17]. Huygens não levou em consideração o comprimento de onda, ele imaginou que a luz se propagava como uma série de pulsos, e não em

oscilações periódicas.

Isaac Newton publicou em 1704, em "Optica", o conceito de que cada raio de luz representava a trajetória de um corpúsculo [17]. Newton travou uma batalha com físicos da sua época para que sua teoria fosse aceita, pois ela explicava bem os fenômenos da reflexão e refração, conhecidos na época. Entretanto, a Teoria Corpuscular não explicava os fenômenos da difração, interferência e polarização da luz, mais tarde explicados pela Teoria Ondulatória [17].

A disputa entre as Teorias Corpuscular e Ondulatória permaneceu até as primeiras décadas do século XVIII, e com a morte de Huygens a Teoria de Newton ganhou notoriedade entre os Físicos da época.

Isaac Newton deu muitas contribuições à óptica geométrica, decompôs a luz branca em diferentes espectros, mediu os comprimentos de onda e chegou a valores próximos do real [17]. A óptica geométrica explica vários fenômenos para situações em que o comprimento de onda da luz é muito pequeno em relação à precisão do equipamento experimental utilizado. A lei de que a luz viajava em linha reta em meio homogêneo não explicava porque na reflexão e na refração a trajetória original da luz não se mantinha.

2.2 Leis da reflexão e refração

A Lei da Reflexão diz que o raio incidente, o raio refletido e a reta normal ao plano estão no mesmo plano de incidência, e que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência (equação 2.1) [17]:

$$\theta_i = \theta_r \tag{2.1}$$

A Lei de Refração foi descrita por Ibn Sahl⁵ e mais tarde foi formulada por Willbrord Snell em 1621⁶, sendo posteriormente reformulada por R. Descartes em 1637⁷.

⁵Utilizou para explicar a refração de lentes espelhadas [11, 14].

⁶Explicou a refração experimentalmente [18].

⁷Deduziu a Lei de Refração pela Teoria Corpuscular da Luz [18].

A Lei da Refração diz que o raio refratado também pertence ao plano de incidência, e que o seno do ângulo de incidência sobre o seno do ângulo refratado, é igual ao índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1, conforme equação 2.2 [17]:

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2 \quad (2.2)$$

O índice de refração absoluto, n , de um meio em relação ao vácuo, é definido como a razão da velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio conforme a equação 2.3 [17]:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.3)$$

Uma forma simples de explicar a reflexão e a refração é utilizando-se de um espelho. No caso da reflexão, quando a luz atinge o espelho ela rebate em outra linha reta, e na refração essa variação da trajetória da luz acontece quando muda o meio.

Pierre Fermat, em 1657, mostrou um novo método para determinar a trajetória dos raios luminosos; segundo ele, a natureza sempre segue o caminho mais rápido:

"De todos os caminhos possíveis para ir de um ponto a outro, a luz segue aquele que é percorrido no tempo mínimo. [Pierre Fermat]"

Fermat explicou a reflexão como sendo o caminho ótico de menor distância (ACB), associado ao tempo mínimo para a luz percorrer o caminho entre dois pontos de uma superfície refletora (figura 2.1), e a refração como sendo o caminho ótico (ACB) entre dois meios com velocidades diferentes, onde o tempo total é mínimo. Para o tempo total ser mínimo, a luz deve aproveitar melhor o caminho onde tiver maior velocidade (figura 2.2). O que vemos, na verdade, é que o princípio de Fermat fica compreendido se levarmos em conta que existem outros caminhos óticos do mesmo tipo ligando dois pontos, e que, sendo todos estacionários esses, caminhos tem que ser iguais.

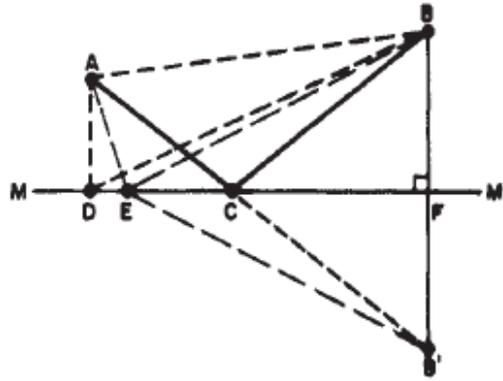


Figura 2.1: Reflexão - caminho mais rápido.
[15]

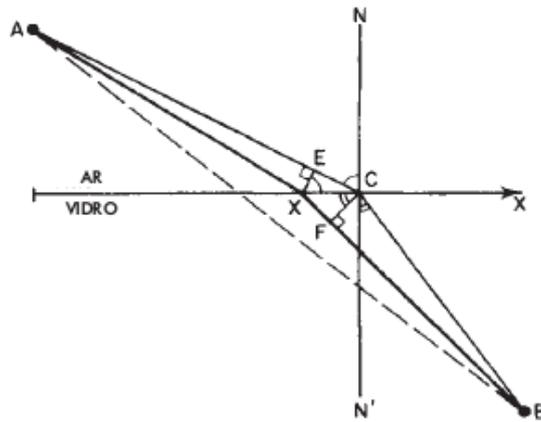


Figura 2.2: Refração por Fermat.
[15]

Tanto a reflexão quanto a refração foram explicadas pela Teoria Corpuscular, como fez R. Descartes, que usou nas suas anotações uma bola de tênis sofrendo uma colisão elástica no solo. Ele observou que a componente da velocidade vertical se inverte, enquanto a componente horizontal não se altera. Para a explicação da refração, Descartes usou a mesma bola, apenas mudando de situação, passando de um meio para o outro, do ar para a água, concluindo que parte da componente vertical da velocidade se perde. Porém, o que não tinha sido explicado pela Teoria Corpuscular, é porque parte do raio se refletia e parte se refratava, ou como seria feita essa escolha [17].

Newton tentou explicar a refração e a reflexão pela sua teoria dos acessos, segundo ele os corpúsculos teriam acessos de fácil reflexão, quando se refletiam, e acessos de fácil transmissão, quando eram refratados, onde esses acessos seriam periódicos, regulados por uma onda que se propagaria juntamente com o raio de luz. Esta teoria de Newton é primária da Teoria Quântica da luz. A Teoria Ondulatória explicou essa dificuldade, mostrando por exemplo, que se prendêssemos uma corda a outra, com duas cordas de densidades diferentes, uma onda que chegasse à junção, seria parcialmente refletida e parcialmente refratada [17].

O Princípio de Huygens explicou a reflexão e a refração por cálculos geométricos, e utilizou uma frente de onda incidente chegando à interface do meio. Na reflexão, a frente de onda incidente gera uma onda secundária, que chega a um ponto onde a onda faz o mesmo ângulo de incidência, pois as distâncias das ondas incidente e refletida são iguais atingindo em um tempo igual, e onde d é a distância de um ponto até a interface, e v_1 é a velocidade no meio 1. Quando a onda secundária é gerada, a envoltória das ondas geradas na interface formam a onda refletida.

A refração também foi explicada pela Teoria Ondulatória, nela a frente de onda incidente dá origem à frente de onda refratada, e o tempo necessário para a luz percorrer uma distância d_1 , de um ponto até a interface do meio 1, é o mesmo para percorrer a distância d_2 , no meio 2, conforme equação 2.4 (figura 2.3) [17]:

$$t = \frac{d_1}{v_1} = \frac{d_2}{v_2} \quad (2.4)$$

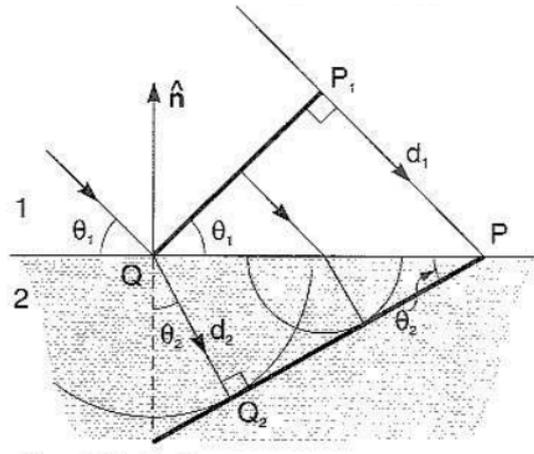


Figura 2.3: Refração por Huygens.
[17]

As Teorias Ondulatória e Corpuscular se contradiziam em mais um tópico, a velocidade da luz. Pela Teoria Corpuscular a velocidade da luz na água era maior que no ar, e pela Teoria Ondulatória a velocidade da luz na água era menor. Isso ficou mais tarde provado por Foucault e Fizeau, em 1850, que mediram a velocidade da luz no ar e na água, provando que a velocidade da luz na água era menor. Esta foi considerada uma prova favorável à Teoria Ondulatória da luz [17]. Uma explicação seria devido à luz ao passar de um meio menos refringente como o ar, para um meio mais refringente como a água, devido à viscosidade da água, perderia velocidade [17].

2.3 Índice de refração

Nem todos os materiais tem as mesmas características, nem apresentam os mesmos valores para o índice de refração. Sabemos que o índice de refração é um número que representa a razão da velocidade da luz em diferentes meios. E como dito na seção anterior, é obtido comparando a velocidade da luz no vácuo, e a velocidade da luz no meio em questão.

O índice de refração de um material depende de características com que este material é feito. Ao olharmos sob o aspecto da mecânica de partículas, os materiais são feitos de diferentes átomos, e por isto têm diferentes propri-

idades na matéria. Isso é devido a quantidades e diferenças atômicas, o que traz consequências diferentes quando a luz passa em um material diferente quimicamente do outro. A luz perde velocidade devido a densidade óptica do meio onde passa, nota-se que o índice de refração de uma substância é inversamente proporcional a velocidade de propagação da luz em seu interior, ou quanto mais denso opticamente for a substância, menor será a velocidade de propagação da luz.

James Clerk Maxwell, em 1864, provou teoricamente que uma perturbação elétrica deveria propagar-se no espaço com uma velocidade igual à da luz, provou que as ondas luminosas eram ondas eletromagnéticas, formadas por ondas transversais em um meio elástico (ondas que se propagam na direção perpendicular à direção de oscilação), isto é, os campos elétrico (\vec{E}) e magnético (\vec{B}) são perpendiculares à direção de propagação. Maxwell, descobriu os princípios básicos do eletromagnetismo em termos de quatro equações fundamentais, que conhecemos por equações de Maxwell.

As equações de Maxwell são um grupo de equações diferenciais parciais que, juntamente com a lei da força de Lorentz, compõem a base do eletromagnetismo clássico no qual está embasada toda a óptica geométrica. As equações podem ser divididas em duas grandes variações. O grupo microscópico das equações de Maxwell utiliza os conceitos de carga total e corrente total, que inclui as cargas e correntes em níveis atômicos, mais difíceis de serem calculadas. O grupo macroscópico das equações de Maxwell define os dois novos campos auxiliares que podem evitar a necessidade de ter que se conhecer tais cargas e correntes em dimensões atômicas. Estas equações aplicam-se a campos elétricos e magnéticos no vácuo, mas também podem ser generalizadas para incluir os campos na matéria. Assim, através das equações de Maxwell, podemos chegar à definição de índice de refração, utilizando uma modelagem apropriada para isso.

Estas quatro equações (2.5, 2.6, 2.7 e 2.8) na forma diferencial para o vácuo são:

- Lei de Gauss

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.5)$$

- Lei de Gauss do magnetismo

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.6)$$

- Lei de Faraday

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.7)$$

- Lei de Ampere

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.8)$$

Em um meio material, em regiões onde não há carga livre ou corrente livre, isto é, não existe fluxo de elétrons dentro do material, as equações de Maxwell são reescritas como [19]:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0 \quad (2.9)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.10)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.11)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.12)$$

Se o meio for linear e homogêneo, o campo de deslocamento elétrico, \vec{D} , e a intensidade de campo magnético, \vec{H} , são relacionados aos campos elétrico e magnético, respectivamente, como:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.13)$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B} \quad (2.14)$$

Nestas equações, μ e ϵ são as constantes de permeabilidade magnética e permissividade elétrica do material, respectivamente. Substituindo as equações 2.13 e 2.14 nas equações 2.9 e 2.12, as equações de Maxwell em um material se resumem a:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (2.15)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.16)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.17)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (2.18)$$

Podemos desacoplar as expressões para os campos elétrico e magnético tomando o rotacional das equações 2.17 e 2.18:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \vec{\nabla}^2 \vec{E} \quad (2.19)$$

$$\vec{\nabla} \times \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) = -\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla} \times \vec{B}) = -\mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.20)$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - \vec{\nabla}^2 \vec{B} \quad (2.21)$$

$$\vec{\nabla} \times \left(\mu\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) = \mu\epsilon \frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -\mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (2.22)$$

Lembrando que a identidade vetorial divergente dos campos é nula e é válida para qualquer vetor, obtemos assim as equações 2.23 e 2.24 de segunda ordem desacopladas para \vec{E} e \vec{B} .

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.23)$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (2.24)$$

Que satisfazem a equação de onda 2.25 tridimensional abaixo:

$$\nabla^2 f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} \quad (2.25)$$

Comparando as equações 2.23 e 2.24 com a equação de onda 2.25 chegamos à velocidade (v) da luz em um meio material na equação 2.26:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (2.26)$$

A velocidade da luz no vácuo pode ser obtida de maneira semelhante, a partir das equações 2.7 e 2.8, aplicadas em uma região sem cargas e sem correntes livres:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \quad (2.27)$$

A razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade num dado material, configura o índice de refração (n) do material (equação 2.3). Assim, podemos obter o índice de refração a partir das constantes de permeabilidade magnética e permissividade elétrica, por:

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{\epsilon_0\mu_0}} \quad (2.28)$$

2.4 Estudos sobre óptica geométrica

Aprendizagem em óptica geométrica vem geralmente acompanhada de concepções pré determinadas com características espontâneas, que atrapalham o ensino aprendizagem do tema. O trabalho de dissertação de mestrado de E. Lopes [2] discute as sete premissas de identificação de obstáculos de aprendizagem da óptica geométrica. Nestas, podemos classificar qual dificuldade o aluno apresenta, abaixo cito:

- os parâmetros físicos da luz não são perceptivos, como velocidade e comprimento de onda;

- os fenômenos ópticos são modificados devido à ação dos meios nele contidos;
- o observador faz parte do sistema óptico;
- a influência da percepção visual na linguística;
- a formulação de explicações para os fenômenos, por causa da sua consequência;
- a interdisciplinariedade da óptica, e restrita com a Física;
- a dificuldade em interpretar o simbolismo gráfico.

Ao analisarmos esses parâmetros para caracterizar como o aluno compreende os fenômenos ópticos, observamos que eles tem concepções que muitas vezes são difíceis de serem abandonadas. Muitas vezes os alunos não entendem os fenômenos de reflexão e refração como sendo conjuntos, isso dificulta o ensino de óptica geométrica, pois eles tendem a não compreender os fenômenos da natureza: por exemplo, por que o céu é azul, e outros fenômenos da natureza que muitas vezes poderiam ser um fator de ajuda no ensino e aprendizagem. O professor não consegue que eles abstraíam os fenômenos do cotidiano, e os que conseguem, explicam com interpretações físicas incompletas ou erradas [2].

A sexta premissa, que relaciona a interdisciplinariedade, é a base da investigação nessa dissertação, que busca levar um modelo de aprendizagem que consiga relacionar a Física a outras disciplinas. Para o aluno que ainda não conseguiu ver que é possível aprender Física inter-relacionando com outras áreas do conhecimento, isso faz com que o professor faça a ponte de seu conhecimento, e abra portas para que seu aluno possa observar o mundo a sua volta com outros olhos. Nesta dissertação, mencionaremos a alteração de visão transitória em pacientes de *diabetes mellitus* como motivação para ensinar a Lei de Refração, de forma que o aluno consiga relacionar o processo de visão e a refração.

Apesar de algumas premissas relacionarem aspectos específicos de aprendizagem de óptica geométrica, levaremos em nossos estudos de avaliação da

dificuldade de aprendizado do aluno, todas essas premissas para tentar fazer a modelagem de aprendizagem do aluno sobre refração. Muitas vezes o aluno supõe conceitos físicos baseados em frases ouvidas ao longo de sua vida, como por exemplo, que enxergamos porque a luz sai do olho. Esta ideia parece estabelecer uma confusão entre o diagrama de raios e o processo da visão.

Em sua dissertação, E. Lopes [2] apresenta uma metodologia de como medir o índice de refração, utilizando um método que se baseia na observação de que objetos imersos em água aparecem maiores. Para isto, ele fotografou um recipiente cilíndrico cheio de Coca-Cola, imerso em outro recipiente com água, e comparou pela foto obtida a diferença entre os raios reais e aparentes. Posteriormente, fez as medidas destes raios com régua, ou método digital. Na dissertação ele apresenta uma forma simples de obtenção do índice de refração de líquidos, utilizando como propriedades o aumento aparente sofrido pelo recipiente quando imerso em líquido. O índice de refração é obtido com razoável precisão através de uma régua graduada. A vantagem desta montagem é que o índice de refração é obtido pela razão do valor do raio real pelo aparente do recipiente.

2.5 Estudos em outros países

Estudos na Província do Cabo Oriental feitos por M. John and J.M. Molepo and M. Chirwa, na África do Sul pela Walter Sisulu University [3], e em Patras, Grécia por Fyttas, G. and Komis, V. and Ravanis, K., [4] pela Universidade de Patras sobre a compreensão da refração, transcreveram as dificuldades com que os alunos interpretavam o fenômeno da refração.

Na África do Sul, foram entrevistados setenta estudantes do grau 11 de uma escola secundária sênior; a educação básica na África do Sul é dividida em duas faixas: a Educação Geral e Treinamento (vai do nível 0 ao 9; e a Educação Complementar e Treinamento, que compreende os níveis 10 a 12 e os centros de treinamento vocacional não superior. Após a conclusão do 12º ano (equivalente, no Brasil, à conclusão do ensino médio), os alunos prestam exame administrado pelo governo, os “Senior Certificate Examina-

tions”, geralmente denominados “the matric exams”. A qualificação obtida nesses exames é o “National Senior Certificate”. Aqueles estudantes que preenchem determinados requisitos recebem o “Matriculation Endorsement” em seus certificados, que é o requisito mínimo para a admissão em qualquer universidade sul-africana [20].

Na Grécia, o estudo foi com duzentos e treze estudantes com idades de 14 a 15 anos, os alunos estavam cursando o nono ano de escolaridade, que corresponde ao primeiro ano do ensino médio no Brasil.

O estudo da refração tanto na África quanto na Grécia, começa no ensino primário e posteriormente no ensino secundário, com o modelo de óptica geométrica. Ao longo das décadas houve várias pesquisas com estudantes a fim de avaliá-los sobre os fenômenos e os conceitos da luz, como propagação retilínea, formação de sombras, visão e formação de imagens. Esses dois estudos apresentam a avaliação qualitativa dos alunos a partir da análise das respostas livres a três perguntas. Enquanto a pesquisa com estudantes africanos contextualiza e analisa as respostas dadas, a pesquisa com estudantes gregos feita através de figuras, incorpora pela primeira vez duas situações nunca pesquisadas:

- refração da luz passando de um meio mais denso para um meio menos denso (água para o ar).
- a luz incidindo verticalmente de um meio menos denso para um meio mais denso (ar para o vidro).

Os professores como na maioria dos países e também na Grécia abordam o fenômeno da refração para o nono ano, a partir da Lei de Snell.

A principal diferença nos dois estudos é que os estudantes africanos apresentam muitas concepções alternativas, e também professores que muitas vezes desconhecem os fenômenos ondulatórios.

Por isso, o principal objetivo da pesquisa africana foi responder qual seriam as concepções dos alunos da décima primeira série com alunos de faixa etária 17 anos sobre refração. Eles associaram a curvatura dos raios de luz com materiais brilhantes, enquanto outros estudantes associaram a curvatura com materiais transparentes ou opacos, e ainda com cristais ou bordas. Visto que poucas pesquisas similares foram realizadas na África, a conclusão do estudo foi que os alunos apresentaram muitas dificuldades de conceituar

o fenômeno da refração, e associaram a refração com a flexão dos raios de luz e não com a mudança de meio no qual os raios de luz viajam, ou com mudança no índice de refração.

Apesar de diferenças sócios-econômicas, o resultado das pesquisas sugere que os alunos apresentam dificuldades conceituais significativas sobre refração, por exemplo: viagem do raio de luz do olho do observador para o objeto. Os alunos não conseguem dizer que o fenômeno da refração acontece na interface entre dois meios de índices de refração diferentes, o que comprova pesquisas internacionais anteriores.

Enquanto no estudo grego os estudantes foram avaliados com pré-instrução sobre refração e com o modelo de Wave Optics⁸ que apresentou um melhor resultado. No estudo africano, educadores e escritores de livros deverão mudar a forma de ensinar e deverão abordar mais tópicos como incidência normal além de incidência inclinada, definindo refração como sendo mudança de velocidade da luz e não curvatura da luz quando viaja de um meio para outro.

A determinação da medida do índice de refração é uma atividade prática em laboratório de ciências, muitas vezes envolvem a Lei de Snell, porém alguns alunos apresentam dificuldades para entender o fenômeno da refração. Existe diversas maneiras para medir o índice de refração de substâncias, em se tratando de líquidos, podemos medir utilizando prismas.

Alguns métodos exigem que os alunos encontrem o ângulo de desvio mínimo, o que torna a experiência trabalhosa, por isso esses dois trabalhos abaixo mostram ideias diferentes e de fácil compreensão para o aluno.

Um método a ser analisado é apresentado no artigo de W. Siu e M. Seyuen [21] que traz um método utilizando placas de acrílico transparentes como o principal componente do aparelho de refração e usa para investigar a relação entre o ângulo do raio incidente e ângulo do raio refratado (lei de Snell). O aparelho de fácil construção são dois blocos colados com cola de silicone, para manter o líquido sob investigação. Um pequeno buraco de cerca de 6 mm é perfurado no topo do tanque circular para permitir que o líquido seja introduzido com uma borracha. Outro buraco é perfurado na

⁸O modelo Wave Optics faz com que o aluno tenha uma abstração maior sobre o fenômeno da refração.

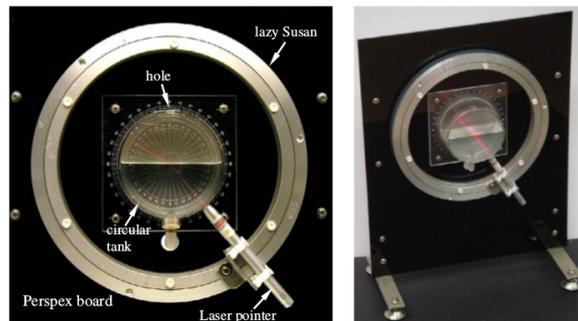


Figura 2.4: Experimento de W. Siu e M. Se-yuen.
[21]

parte inferior do tanque para que um tubo de drenagem possa ser instalado. Um transferidor de círculo completo está preso na parte de trás da superfície do tanque para auxiliar a leitura do ângulo de refração e incidência. Tiras transparentes prendem o apontador laser na parte inferior do tubo circular de modo que fique fixo, porém, a peça possa se mover variando o ângulo de incidência. As vantagens dessa montagem perante outras é que, além de ter tido seus dados experimentais para soluções de glicose, glicerol, e água razoáveis aos valores de literatura, os alunos podem se organizar e investigar o teor de açúcar de sucos e refrigerantes, para se motivarem a um consumo consciente. Além disso o tanque de refração também pode ser usado para fornecer uma demonstração clara do fenômeno da refração. Quando o ângulo incidente se aproxima do ângulo crítico, o ângulo refratado fica com seu raio mais fraco, enquanto o raio refletido ganha intensidade. E quando o ângulo de incidência é maior que o ângulo crítico, a reflexão interna total ocorre, conforme figura 2.4.

Outro estudo, feito por: Keawkhong, Emarat, Arayathanitkul, Soankwan e Chitaree [5], fundamenta-se em pesquisas realizadas com 261 estudantes do décimo primeiro ano do ensino básico em escolas tailandesas.

A educação básica na Tailândia [22] é gratuita até doze anos, sendo garantida pela constituição, e um mínimo de nove anos de frequência à escola é obrigatória. A estrutura da escola é dividida em quatro fases fundamentais: os três primeiros anos do ensino fundamental (1 a 3) são para as faixas

etárias de 6 a 8 anos de idade. O segundo nível (4 a 6), são para grupos de idade entre 9 a 11 anos. O terceiro nível (7 a 9) é para os grupos etários de 12 a 14 anos de idade. O nível secundário de educação é designado para os grupos de idade 15 a 17 anos (10 a 12) e está dividido em correntes acadêmicas e profissionais. Há escolas acadêmicas superiores secundárias, escolas secundárias e escolas de formação profissional abrangentes, oferecendo faixas acadêmicas e profissionais.

A pesquisa mostrou que os estudantes tailandeses não sabiam usar o diagrama de raios para explicar o fenômeno de refração, além disso muitos não consideraram como necessário o raio partir do objeto para conseguir enxergar. Também não conseguiam saber a relação entre ângulo incidente e ângulo refratado [5].

Em todos os estudos apresentados nota-se dificuldades dos estudantes em relacionar o fenômeno da refração, como mudança de meio e velocidade, além da relação de índice de refração, e apresentam dificuldades de usar o diagrama de raios e relacionar ao processo da visão. Além disso, várias concepções pré-existentes que atrapalharam ao ensino e aprendizagem do fenômeno da refração.

Capítulo 3

Óptica do olho humano

Neste capítulo serão apresentados detalhes da estrutura do olho humano e da dificuldade que pacientes diabéticos tem em enxergar, quando fazem uso de uma dieta rica em açúcares. Para isto, são mostrados dados referentes à pesquisa realizada sobre este tema. Este capítulo é importante por mostrar como a Física pode ser relacionada à Medicina, à Biologia, e à Química.

3.1 Estrutura fisiológica

Podemos comparar o olho humano a uma máquina fotográfica comum, pois ambos funcionam focalizando objetos a distâncias grandes e formando imagens com distâncias pequenas. Eles têm em comum um sistema de lentes, que no olho é formado pelo cristalino e a córnea, um sistema de diafragma variável, que no olho corresponde à íris, e à retina que corresponde ao filme a cores. Porém, o olho humano apresenta características especiais que não encontramos nas mais sofisticadas máquinas, a saber: um sistema de focalização que permite ver objetos nitidamente tanto a 25 cm quanto a grandes distâncias, a íris que controla a entrada de luz automaticamente, e as células bastonetes na região na retina, a capacidade de ver em ambientes pouco iluminados. Além disso, permite a visão horizontal, na direção temporal, na direção do nariz, e para cima e para baixo em relação ao centro do olho. A imagem na retina é formada invertida menor, e através do nervo óptico é

processada no cérebro.

A córnea, lente fixa do olho, é a maior responsável pela focalização da luz na retina, cerca de dois terços [23]. Devido a sua forma ser ligeiramente curva e devido à diferença no seu índice de refração com o ar, os raios incidentes são refratados assim que a atingem. Cada estrutura ocular tem um índice de refração diferente, todos próximos ao da água (1,333). A luz, após passar pela córnea, sofre sucessivas refrações nas diferentes camadas transparentes do olho, até que a imagem seja focalizada no centro da retina (no olho normal) conforme apresentado na tabela 3.1 [23].

Na parte de trás da córnea existe um fluído de cor clara, o humor aquoso, responsável por manter a pressão ocular menor que 22 mm Hg [23]¹.

À cor predominante do olho chamamos de íris, e pode se apresentar entre: azul, verde, castanho e preto, é basicamente composta de músculos, que se distendem e contraem tendo a função de controlar a abertura da pupila, isto é, a passagem de luz por esta.

Logo após temos o cristalino, a segunda lente do olho, responsável pelo restante da focalização da luz na retina. Ele é composto por inúmeras fibras musculares, envoltas por uma membrana clara e elástica, responsáveis por mudar sua forma. Contraíndo-se, torna a lente mais convexa, aumentando seu poder de focalização, aumentando a refração, favorecendo a visão para objetos mais próximos. Se os músculos relaxam, o cristalino é capaz de focalizar objetos a grandes distâncias.

Após o raio luminoso passar pelo cristalino, chega até o humor vítreo², onde o raio luminoso seguirá na mesma direção que a refratada pelo cristalino. O humor vítreo é constituído de uma substância clara e gelatinosa, que preenche todo o espaço até chegar à retina. A estrutura do olho pode ser

¹O humor aquoso é um líquido incolor, constituído por água 98% e sais dissolvidos 2% - predominantemente cloreto de sódio - que preenche as câmaras oculares (cavidade do olho, entre a córnea e o cristalino, e a fornecer nutrientes ao cristalino e à córnea, pois estes não são vascularizados.

²O humor vítreo é composto por substâncias hidrossolúveis e componente insolúvel (Proteína residual), além de ácido hialurônico, ácido ascórbico e láctico, glicose, lipídeos, albuminas, globulinas, aminoácidos (Glutamina e Histidina) e componentes inorgânicos; é mais viscoso que a água, devido a concentração de hialuronato de sódio, possui fibras de colágeno tipo II e podem ser encontradas células (Hialócitos) no córtex. Possui função estrutural a fim de manter o formato do olho e impedir o deslocamento da retina.

visualizada na figura 3.1.

A retina tem espessura de cerca de 0,5 mm [23] e coloração rósea. Ela cobre toda a superfície interna do olho, sendo a parte sensível à luz, e realiza a conversão da imagem luminosa em impulsos elétricos nervosos. Isto acontece através de uma reação fotoquímica na retina, através dos fotorreceptores. Esses impulsos elétricos são enviados através do nervo óptico e processados pelo cérebro.

Os fotorreceptores são de dois tipos: os cones e os bastonetes; em cada olho existe cerca de 6,6 milhões de cones e 120 milhões de bastonetes [23]. Os fotorreceptores irão absorver a energia dos fótons que conseguirem chegar até a retina. Os cones, acredita-se por testes psicológicos, são sensíveis às cores primárias, e os bastonetes são sensíveis à luz fraca, conforme [23].

O olho humano não detecta a radiação infravermelha, pois sua energia é insuficiente para iniciar a reação fotoquímica nos fotorreceptores, sendo absorvida na totalidade pelo cristalino [23]. Já a ultravioleta possui radiação suficiente, porém é absorvida antes de chegar à retina, também no cristalino. Por isso, a região sensível à visão é compreendida pela faixa onde a radiação eletromagnética está entre 400 nm e 700 nm. A figura 3.2 apresenta um diagrama da retina [23].

Parte do Olho	Índice de Refração
Córnea	1,37 – 1,38
Humor aquoso	1,33
Cristalino	1,38 a 1,41
Humor vítreo	1,33

Tabela 3.1: Índice de Refração.

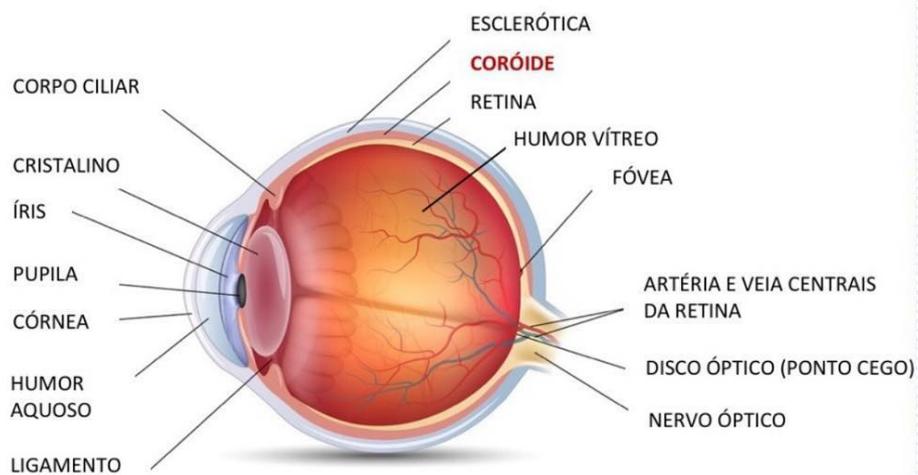


Figura 3.1: Estrutura Ocular.

[24]

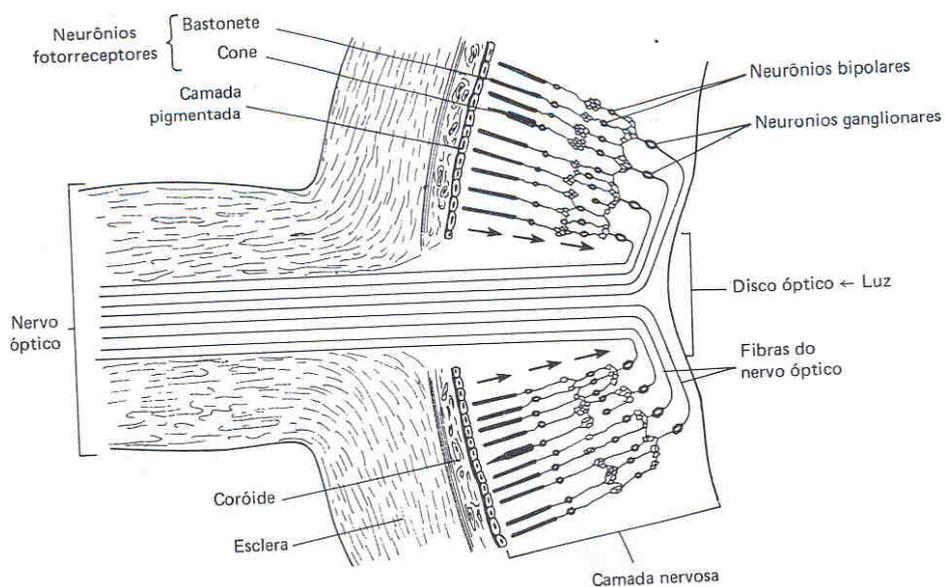


Figura 3.2: Estrutura da Retina.

[23]

3.2 Problemas de visão

A finalidade de uma lente é aumentar ou diminuir um objeto. As lentes são dispositivos ópticos que consistem da associação de dois dioptrios, e funcionam devido à refração da luz. São divididas em seis tipos de lentes esféricas (formadas por dioptrios esféricos ou esférico e plano), sendo três com bordas finas e três com bordas espessas. Os nomes das lentes são, usualmente, associados às faces. Existem duas faces a nomear. Se a primeira face for plana, o nome plano vem em primeiro lugar, exemplo, plano-côncavo e plano-convexo, e se as faces tiverem nomes iguais fazemos uso do prefixo bi (bicôncavas, biconvexas). Nos demais casos, citamos a face que tiver o maior raio de curvatura em primeiro lugar e em seguida a de menor curvatura. Temos assim, de acordo com esta convenção, os nomes das diversas lentes esféricas separadas em dois grupos, convergentes quando são mais espessas no centro que nas bordas, e divergentes se são o contrário [25]. A lente será considerada delgada se sua espessura for pequena em relação aos raios de curvatura de qualquer uma das faces.

A importância da distância focal de uma lente é vista quando consideramos os raios incidentes paralelamente ao eixo principal. Nesse caso as lentes se dividem em duas categorias. Nas lentes convergentes os raios convergem para um ponto (o foco da lente). Este é o significado físico da distância focal, ela nos dá a que distância da lente haverá a convergência dos raios. Se a lente for divergente, então os raios refratados divergem, como se partissem de um mesmo ponto. Assim, as lentes convergentes tem a distância focal positiva e lentes divergentes têm a distância focal negativa [23].

Podemos classificar a lente comparando o índice de refração do meio 1 (externo) com o índice de refração do meio 2 (lente). O caso mais comum é quando a lente tem índice de refração maior que o índice de refração do meio externo. Como, por exemplo, uma lente de vidro com índice de refração igual a 1,5 inserida num meio de índice de refração igual a 1,0 (ar). Neste caso, um exemplo de lente com comportamento convergente é o de lente de borda fina, e de comportamento divergente é uma lente de borda grossa.

Podemos dar como exemplo o olho humano, que apresenta duas lentes

convergentes: uma fixa, a córnea, e outra variável, o cristalino. O cristalino é um corpo lenticular biconvexo, transparente e com distância focal variável, ajustando-se conforme a necessidade do olho. Devido ao índice de refração entre o cristalino e o humor vítreo não serem muito diferentes, após passar pelo cristalino os raios luminosos mantêm-se direcionados e são focalizados na retina.

No olho normal a projeção da imagem é real, invertida e menor que o objeto. Porém, existe uma distância de máxima aproximação da retina em que o olho consegue reproduzir a imagem. A esta distância chamamos de ponto próximo, que pode variar de pessoa para pessoa, sendo na média 25 cm. Também temos o ponto distante, que é o mais distante que um objeto pode ser focalizado pelo olho. No caso de olhos normais essa distância está no infinito [23].

Conforme a variação de adaptação do cristalino, a convergência do olho torna-se diferente para visão para longe ou para perto. Se o cristalino aumentar a curvatura da sua superfície (cristalino engrossado), sua convergência será maior e os objetos próximos ao olho irão ter uma imagem nítida. Ao contrário, se o cristalino estiver relaxado, a imagem de objetos distantes será melhor focalizada.

Quando o olho apresenta problemas de visão, tais como: miopia, hipermetropia, presbiopia e astigmatismo, a formação da imagem na retina não será da forma normal. Quando o olho apresenta um globo ocular mais longo que o normal, ou se a córnea apresentar uma curvatura maior, o olho não consegue focalizar a imagem na retina, e teremos um olho míope, que podemos corrigir com uma lente divergente (dioptria negativa). Estas lentes têm distância focal grande para que a imagem seja projetada na retina e não antes dela³ (figura 3.3).

Se o globo ocular for curto demais, a imagem é projetada depois da retina, e teremos um olho hipermetrope, que podemos corrigir através de lentes

³Dioptria é a capacidade de uma lente de desviar os raios luminosos por refração; é o inverso do valor da distância focal, e pode ser comparada com a equação de Gauss, visto que o inverso do foco é igual ao inverso da distância objeto somado ao inverso da distância imagem.

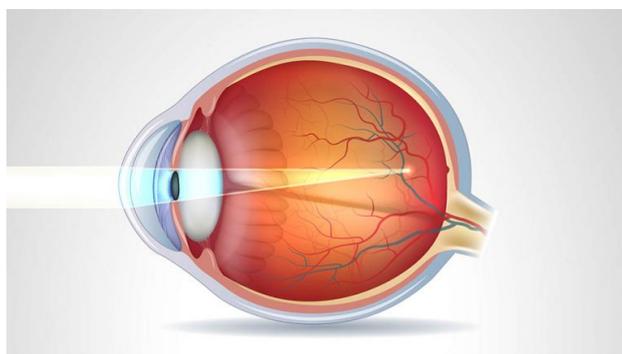


Figura 3.3: Miopia.
[26]

convergentes⁴ (dioptria positiva), conforme figura 3.4.

Quando a córnea apresenta curvatura irregular, ou um cristalino deformado, a imagem produzida na retina é desfocada (borrada). O olho então se apresenta com astigmatismo, e a correção pode ser feita tanto com lentes convergentes como com lentes divergentes, porém melhor ser feita com lentes cilíndricas, pois sua convergência é maior numa direção que na outra; podendo ser tanto plano-concavo como plano-convexo, conforme figura 3.5.

Ao ficarmos mais velhos a vista vai ficando cansada, isto é, perde a capacidade de acomodação (o cristalino perde a flexibilidade), e então o olho apresenta presbiopia. O olho perde a capacidade de ver a distâncias pequenas, fato comum ao hipermetrope, e sua distância próxima aumenta. A correção, então, é a mesma utilizada pelo olho hipermetrope (dioptria positiva).

⁴Dioptria positiva onde a distância imagem é negativa, sendo a imagem igual a 25 cm; irá formar uma imagem virtual numa lente corretora.

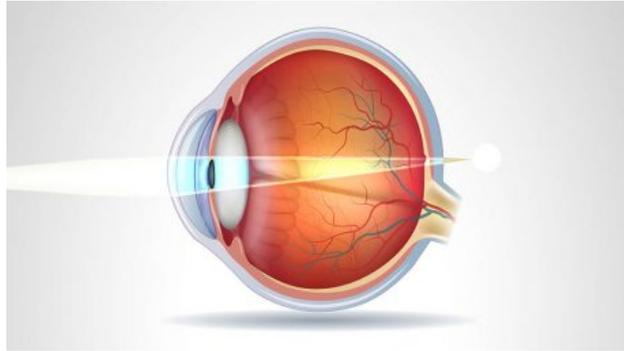


Figura 3.4: Hipermetropia.
[26]

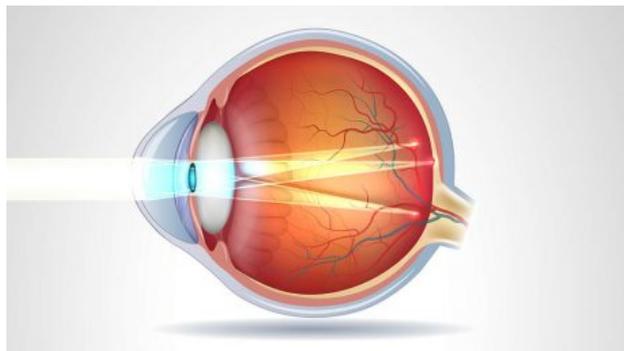


Figura 3.5: Astigmatismo.
[26]

3.3 Diabetes e visão

Nesta seção discute-se os estudos realizados por Charman et al. [1], e seus resultados obtidos comparando a visão de pacientes com e sem diabetes. O artigo mostra um estudo com pacientes de *diabetes mellitus*, onde são apresentados dados estatísticos sobre a alteração da visão devido à ingestão de açúcar.

Pacientes com *diabetes mellitus* podem apresentar alteração visual transitória nos dois olhos, causada pelo acúmulo de glicose no olho. Isso se deve a dietas hiperglicêmicas e variações nos níveis de glicose sanguíneo. Apesar de também existirem diferentes fatores neurais envolvidos, esses efeitos não foram considerados pelos autores [1].

A mudança na refração é motivo de várias discussões, pois alguns autores consideram que leva para uma mudança míope, enquanto outros autores consideram que essa mudança é para hipermetrope. O artigo em questão [1] mostra que não existe uma relação linear simples entre a variação da desfocagem transitória e os níveis de glicose no sangue, com o tempo em dias da terapia hiperglicêmica, pois tanto no início da administração da glicose (hiperglicemia), quanto após a estabilização da glicose sanguínea, o índice de refração apresenta quase os mesmos valores, tendo um pico nos primeiros cinco dias, e sendo restabelecido após um período, tornando assim a visão do paciente normal.

A principal discussão, no entanto, é em torno de qual seria a principal região do olho responsável pela desfocagem visual dos pacientes diabéticos. Argumenta-se que não há alteração tanto na curvatura, quanto na separação da superfície da córnea e do cristalino, ou no comprimento axial ou da posição da lente do cristalino, ou da espessura da retina, apesar de alguns autores falarem que a lente pode apresentar-se inchada [1]. Ao apresentar o estudo com 14 pacientes com *diabetes mellitus*, os autores chegaram à conclusão que a mudança refrativa ocorre no cristalino, embora não tenha sido demonstrado experimentalmente, devido a dificuldade de análise envolvida. Sendo que a alteração inicialmente hipermetrope seria uma mudança que ocorre na escala de tempo de alguns dias, enquanto o processo para o retorno à refração

original ocorreria mais lentamente, devido ao processo de difusão da glicose ocorrer mais devagar dentro da lente.

O olho emetropo (normal) apresenta certas características relacionadas com a idade que foram considerados para comparar com o olho de um paciente de diabetes. A espessura da lente aumenta com o decorrer da idade, tanto para pessoas com ou sem diabetes, mas a espessura da lente é maior nos pacientes diabéticos. Apesar da curvatura da superfície da lente ser maior nos olhos dos diabéticos, o índice de refração equivalente da lente é o mesmo, o que leva a um poder lenticular semelhante ao olho normal.

O estudo da lente do olho normal por ressonância magnética mostra um aumento suave no índice de refração da superfície da lente para o centro, com o gradiente sendo maior próximo à superfície. Para pessoas jovens o índice de refração continua a aumentar até atingir o centro da lente, enquanto nas lentes mais velhas o índice de refração continua quase constante dentro da região central, e essa taxa de variação (gradiente) se limita às camadas externas. Apesar de não ter estudos equivalentes com lentes dos olhos de diabéticos, levou-se em consideração que se os índices de refração equivalentes diferem dos olhos normais relativos as idades, essa taxa de variação (gradiente) do índice na lente deveria ocorrer de maneira semelhante. Essa alteração na variação do índice da lente seria o responsável por ocasionar a mudança refrativa no olho do diabético.

O índice de refração de soluções de glicose varia de aproximadamente $2,7 \cdot 10^{-5}$ por 1 mM de glicose. Se considerarmos que as soluções aquosas são correspondentes ao sangue humano, e que concentrações de glicose sanguínea de 10 mM, já caracterizam a hiperglicemia, isto leva a um índice de refração correspondente na solução aquosa de cerca de 0,0003 acrescido ao valor original. O resultado seria menor se os níveis de glicose aquosa forem menores que os níveis no sangue [1]. Se ocorresse uma mudança dessa natureza no humor aquoso isoladamente, teríamos um efeito de deslocamento míope no olho de cerca de 0,01D (dioptras), o que seria difícil de ser detectável, levando à conclusão que provavelmente seria no cristalino a mudança do índice de refração.

A potência da lente está relacionada às variação do índice de refração

através dos limites da lente, e à distribuição do índice dentro da lente. Apesar de ter várias distribuições e de combinações do índice de refração que poderiam ocorrer dentro da lente, nos olhos dos diabéticos essas mudanças do índice de refração no cristalino não são abruptas e sim ocorrem de forma gradativa.

A pesquisa apresentou uma modelagem [1], onde pode ser estudada qualquer alteração nos índices de refração da lente, e assim desenvolver um modelo de lente representativo para quaisquer parâmetros, de forma que fique parametrizado o índice em todas as direções da lente a partir do centro, e fornecer assim detalhes ópticos. Com essa modelagem fica mais evidente que quando variamos os parâmetros estudados (índice de refração lenticular na superfície, gradiente do índice na lente, potência total da lente e refração ocular resultante) acontece uma mudança para hipermetropia do olho causada por uma redução no índice de refração central da lente, e com isso uma diminuição no gradiente do índice. Isto pode ser causado por uma mudança na pressão osmótica da lente, devido às diferentes concentrações de glicose. Essa mudança na região central deve-se a pouca moléculas móveis de glicose, sendo que quando a água é atraída para a lente, o índice de refração em seu centro diminui, e o valor do gradiente aumentaria.

Com a diminuição dos níveis de glicose no centro da lente, as moléculas de glicose que estariam nas camadas superficiais da lente também se moveriam e a concentração diminuiria, e então o gradiente estaria menos acentuado na borda da lente, e assim a refração estaria na direção míope, até que um novo equilíbrio seja atingido, e assim a distribuição do índice estaria de volta ao valor original. Em decorrência de sucessivos desequilíbrios devido a hábitos alimentares, a alteração para míope estaria cada vez mais acentuada, não voltando ao original.

Para uma total compreensão das características lenticulares dos pacientes diabéticos, o estudo precisa ser desenvolvido com medidas correspondentes *in vitro* e *in vivo*, para uma melhor comparação entre indivíduos normais e diabéticos em relação à idade, aspectos biométricos e características individuais do olho.

Capítulo 4

Metodologia

Este capítulo descreve todo procedimento realizado com o aparato experimental, que consiste em um transferidor impresso em papel A3, um apontador "laser" e um prisma. Todos estes componentes são expostos sobre uma placa de isopor. São preparadas soluções de glicose e de açúcar que serão utilizadas para medidas do índice de refração. Os dados coletados são analisados e comparados com os dados obtidos com o refratômetro de Abbe.

4.1 Abordagem dessa dissertação

Neste trabalho utilizamos um prisma oco de 100 ml de volume, tendo ângulos de 30° , 60° e 90° , onde foram colocadas soluções de glicose e açúcar, em diferentes concentrações, para que os índices de refração pudessem ser medidos.

Utilizamos um transferidor impresso em papel A3 e disposto paralelo à hipotenusa do prisma para a leitura do ângulo do feixe refratado. O transferidor foi impresso em papel A3 devido a uma melhor visualização do ângulo refratado. Seus ângulos foram verificados com um transferidor de acrílico, para ver se houve alteração ao ser impresso.

Um feixe de laser deverá incidir à reta normal no lado oposto ao ângulo de 60° do prisma, e a Lei de Snell-Descartes será utilizada de maneira simples, conforme figura 4.1.

O índice de refração da glicose, n_A , será calculado utilizando o índice de refração do ar ($n_B = 1,00$), multiplicado pelo seno do ângulo lido no transferidor e dividido por $\text{sen}(30^\circ)$. Demonstração em cada face do prisma:

- para a primeira face do prisma temos a equação 4.1

$$1 \text{ sen}(0) = n_A \text{ sen}(0) \quad (4.1)$$

- para a segunda face do prisma temos a equação 4.2

$$\begin{aligned} n_A \text{ sen}(30) &= 1 \text{ sen}(\theta) \\ n_A &= 2 \text{ sen}(\theta) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Poderemos ainda, através de uma curva calibrada, verificar a porcentagem de glicose ou açúcar, de uma solução com concentração desconhecida.

Esta metodologia será empregada em salas de aula do ensino médio, como suporte ao ensino da refração da luz e sua dependência com o índice de refração de um dos meios.

A demonstração do experimento busca apresentar a Lei de Snell Descartes de forma a levar o aluno a trabalhar elementos da teoria na sua vida diária, devido a aproximação da visão como pano de fundo.

A motivação para o uso de soluções de glicose será fazer uma relação entre a ingestão de açúcar (a sacarose quando metabolizada pelas enzimas que estão na saliva transforma-se em frutose e glicose), por indivíduos com *diabetes mellitus*, e a possível relação com o agravamento momentâneo de problemas de visão.

Ao usarmos um assunto presente no cotidiano do aluno, deixamos a física mais presente e acessível ao aprendizado, motivamos discussões, e a relacionamos às outras disciplinas, como a matemática, a biologia e a química.

A vantagem de utilizar esta configuração é apresentar uma simplicidade na montagem, e utilizar materiais de baixo custo, e de fácil obtenção. Além disso, os resultados experimentais apresentaram-se próximos aos obtidos no refratômetro de Abbe e aos valores tabelados para o açúcar.

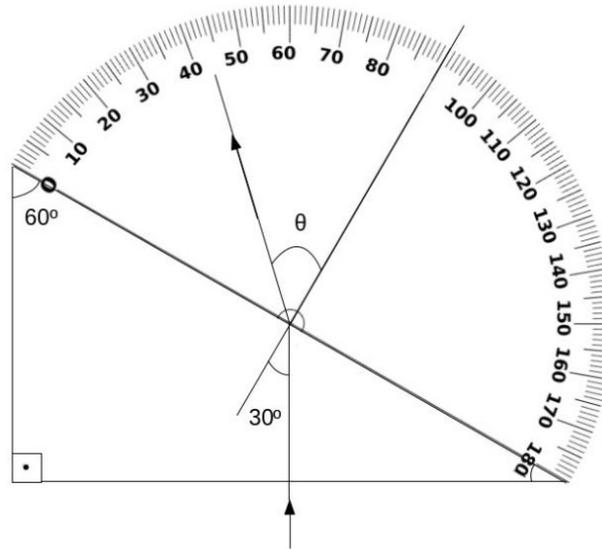


Figura 4.1: Desenho esquemático do prisma e do caminho percorrido pelo feixe de luz.

4.2 Montagem do aparato

A montagem foi realizada utilizando duas placas de isopor de espessura de 1 e 3 cm. Na placa mais fina foi recortado um buraco com as dimensões exatas do prisma, sendo em seguida colada sobre a placa mais espessa. Desta maneira, foi criado um berço onde o prisma pode ser encaixado para a realização das medidas, assegurando que estará sempre na mesma posição.

O bastão de vidro foi fixado em um suporte de papelão colado no isopor, para que seu centro ficasse na altura de incidência do laser. Ao atingir o bastão de vidro, o laser, que possui perfil circular, passa a ter perfil linear¹, melhorando a observação. O apontador laser é um dispositivo que emite luz monocromática colimada. Foi utilizado um laser de cor verde (532 nm), fixado paralelo à reta normal à base oposta ao ângulo de 60°. Na ponta do laser foi colocado um colimador². Na hipotenusa do prisma foi colado um

¹O bastão de vidro se comporta como uma lente cilíndrica bicôncava, estica um ponto da luz em uma linha, e consegue espalhar a luz do laser.

²Colimador é um dispositivo, construído a partir de um material que absorve radiação, usado para direcionar e suavizar feixes de radiação.

transferidor impresso em papel A3 graduado até 180° .

Devido a esta configuração do esquema experimental, podemos escrever a Lei de Snell de forma simples, e não precisamos medir o ângulo de incidência na segunda face, só medindo o ângulo refratado, lido diretamente no transferidor, conforme Figura (4.1).

4.3 Procedimento

Este trabalho envolveu a realização de medições no aparato experimental proposto, e posteriormente a validação dos resultados obtidos com medidas realizadas em um refratômetro de Abbe. Foram medidos os índices de refração de soluções de açúcar e de glicose, a diluições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, além de água pura como controle.

Para cada diluição foram realizadas três medidas do ângulo do feixe refratado³, sendo que todas apresentaram o mesmo resultado, dentro da faixa de incertezas do instrumento de medidas.

As figuras 4.2 e 4.3 apresentam fotos de medidas realizadas em duas diluições diferentes, uma para solução de açúcar e outra para glicose, respectivamente. Os resultados obtidos estão organizados em uma tabela e serão apresentados na próxima seção.

O procedimento no preparo das soluções, e leitura no aparato consiste em:

1. Para o preparo de 100 ml das soluções, onde seria colocado no prisma oco, deveríamos:
 - Pesar o açúcar em uma balança doméstica ou volume em uma proveta no caso da glicose, pois esta estava em diluição a 50%.
 - Completar o volume com água.
 - Posteriormente solubilizar.

³A cada troca de solução no prisma oco deve ser verificado a calibração do esquema experimental, verificando se o ângulo refratado com o prisma vazio é 30° .

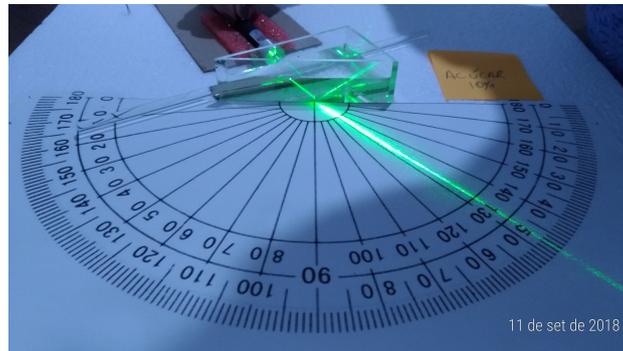


Figura 4.2: Açúcar 10%.

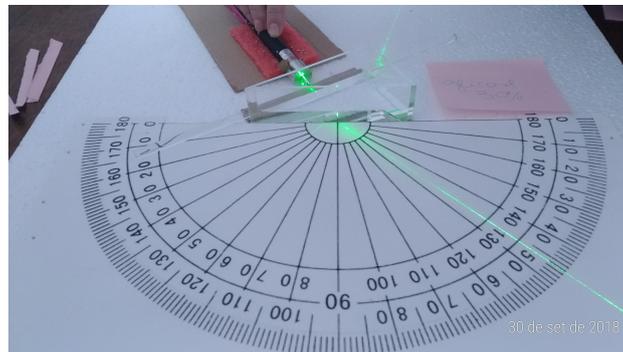


Figura 4.3: Glicose 30%.

2. Colocar a solução preparada no prisma limpo e seco, e realizar a medida do ângulo de refração.
3. Após as medidas e fotos, as soluções não devem ser guardadas, pois as mesmas fermentam, ocasionando variação no índice de refração.

Observação: As soluções de glicose foram preparadas em laboratório, analisadas no refratômetro logo a seguir, pois precisavam de proveta para o preparo, e as soluções de açúcar foram levadas já prontas para serem analisadas no refratômetro.



Figura 4.4: Refratômetro de Abbe utilizado para as medidas.

4.4 Procedimento com refratômetro de Abbe

O refratômetro de Abbe é um instrumento com uma escala graduada, onde através de um sistema óptico medimos o índice de refração, e também podemos verificar o teor Brix de soluções. A escala Brix é fundamental na indústria de alimentos, onde representa o percentual do teor de açúcares dissolvidos em solução.

O procedimento realizado com o refratômetro de Abbe consiste em:

1. ligar a lâmpada que ilumina o espelho, verificar na ocular a iluminação, anotar a temperatura marcada no termômetro do banho de água.
2. Para iniciar as medidas no refratômetro, calibrá-lo com a água, colocando-a no prisma, e verificando na ocular o índice de refração:
 - (a) verificar na ocular a escala no campo visual;
 - (b) ajustar a distância focal com a ocular do instrumento;
 - (c) observar a fronteira claro-escuro;
 - (d) se estiver colorido, acromatizar, girando o dispositivo que compensa a dispersão da luz no líquido, até que a fronteira tenha contornos bem definidos;

(e) anotar o valor lido do índice de refração na escala do instrumento.

3. Foram repetidos os procedimentos⁴ de (a até e), para todas as soluções.

Observação: após as medidas e fotos, as soluções não eram guardadas pois fermentam ocasionando alteração das concentrações, e conseqüentemente variação no índice de refração.

4.5 Dados obtidos

As tabelas 4.1 e 4.2 apresentam os valores medidos de ângulos de refração na montagem com o prisma. A tabela 4.3 apresenta os valores de índice de refração calculados a partir da equação 4.2, para os ângulos apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2, além dos valores obtidos diretamente no refratômetro de Abbe.

Nas medidas com refratômetro de Abbe consideramos como incerteza a metade da menor divisão da escala. Para as medidas com o prisma, as incertezas nos índices de refração foram calculadas pelo método das derivadas parciais, aplicado na equação 4.2. A contribuição da incerteza no índice de refração do ar é desprezível em comparação à incerteza na leitura do ângulo, e a expressão final utilizada pode ser vista na equação 4.3. Nesta equação, σ_θ é a incerteza na leitura do ângulo, e σ_{NA} a incerteza do índice de refração⁵.

$$\sigma_{NA} = 2 \cos \theta * \sigma_\theta \quad (4.3)$$

⁴A cada troca de solução foi realizada uma limpeza no prisma com água destilada e posterior secagem com papel toalha delicadamente, para evitar um risco no prisma óptico.

⁵Para o cálculo da incerteza do índice de refração, o ângulo e sua incerteza devem estar em radianos.

Porcentagem açúcar	Ângulo refratado ($\pm 0,5^\circ$)
0%	41,8°
10%	42,5°
20%	43,0°
30%	43,8°
40%	44,5°
50%	45,2°

Tabela 4.1: Amostra de Açúcar

Porcentagem glicose	Ângulo refratado ($\pm 0,5^\circ$)
0%	41,8°
10%	43,0°
20%	43,2°
30%	43,8°
40%	44,5°
50%	45,2°

Tabela 4.2: Amostra de Glicose

Porcentagem	Glicose		Açúcar	
	Prisma ($\pm 0,01$)	Refratômetro ($\pm 0,001$)	Prisma ($\pm 0,01$)	Refratômetro ($\pm 0,001$)
0%	1,33	1,332	1,33	1,332
10%	1,36	1,346	1,35	1,346
20%	1,37	1,360	1,36	1,363
30%	1,38	1,374	1,38	1,378
40%	1,40	1,388	1,40	1,395
50%	1,42	1,400	1,42	1,417

Tabela 4.3: Tabela com resultados

4.6 Discussão dos resultados

Para cada solução foram feitas três medidas experimentais, tanto para a montagem com o prisma, quanto para o refratômetro de Abbe. As medidas foram realizadas com diferentes cores de apontador laser: vermelho, verde e azul, e os dados obtidos do ângulo de refração foram iguais para as três cores.

Os valores obtidos no refratômetro de Abbe e apresentados na tabela 4.3, são a média de três medidas para cada solução. Os valores obtidos estão dentro da incerteza do instrumento utilizado.

Ao analisar os valores obtidos com as soluções de açúcar e glicose, podemos observar que foram próximos entre si, fato que pode ser explicado pela proximidade das suas densidades, glicose $1,562 \text{ g/cm}^3$ e sacarose $1,57 \text{ g/cm}^3$, devido a uma relação linear entre a absorvância ⁶ e concentração da solução. Isso mostra moléculas com densidades ópticas bem próximas.

O ideal seria fazer as medidas com glicose na sala de aula, porém sugerimos fazer com o açúcar, por ser uma opção barata e de fácil aquisição e manuseio. A compra de solução de glicose é mais difícil, devido a ser de uso hospitalar. Além disso, o açúcar, sendo um alimento presente na mesa da população, ficaria claro para os alunos os riscos de seu consumo elevado.

⁶Absorvância é a relação logarítmica entre a luz incidente e a luz transmitida.

Capítulo 5

Roteiro de experimentação

Este capítulo apresenta uma sugestão de roteiro do experimento para uso nas aulas de ensino médio, que servirá de auxílio simples e acessível tanto ao professor quanto aos alunos, no ensino e aprendizagem da Lei de Refração e sua dependência com o índice de refração e sua dependência com o índice de refração.

O roteiro do professor contém a Teoria da Refração, o procedimento experimental para realizar o passo a passo da montagem, e sugere perguntas que podem ser feitas para melhorar o processo de ensino e aprendizagem do aluno sobre o tema.

O roteiro do aluno mostra onde anotar as medidas aferidas dos ângulos de refração, os procedimentos para obter os índices de refração das soluções de açúcar, e como representar da forma gráfica a relação entre a concentração de açúcar na solução e o índice de refração.

5.1 Roteiro do professor

5.1.1 Material

- Bastão de vidro
- Prisma oco de 100 ml
- Apontador laser

- Bécher 125 ml
- Proveta graduada 100 ml
- Balança analítica
- Açúcar refinado

5.1.2 Objetivo

Estudar a Lei de Snell através da medida de índices de refração.

5.1.3 Introdução teórica

O que acontece quando a luz atravessava de um meio homogêneo para outro? Falando sob a visão microscópica, existem camadas de moléculas sobrepostas, onde a luz ao passar por cada uma delas sofre uma resistência, devido às moléculas existentes no material, e perde velocidade gradativamente.

Quando observamos uma colher dentro de um copo com água e temos a percepção de que ela está torta, este fenômeno deve-se à refração da luz. Devido à passagem da luz de um meio para outro com diferentes índices de refração, temos a impressão que a colher está em uma posição onde ela não está.

A Lei da Reflexão é conhecida desde a Grécia antiga. Sempre que um raio de luz incide numa superfície refletora, é possível prever em que direção será refletido, se conhecermos a Lei da Reflexão.

A Lei da Reflexão diz que o raio refletido pertence ao plano do raio de incidência, e que o ângulo refletido é igual ao ângulo de incidência [17](equação 5.1).

$$\theta_i = \theta_r \quad (5.1)$$

A Lei de Refração foi descrita primeiramente por Ibn Sahl¹ em 984, sendo mais tarde formulada por Willebrord Snell em 1621 e revista por René Descartes em 1637 [17, 27].

¹Cientista Islâmico da segunda metade do século 10 que estudou a refração em lentes

A Lei de Refração diz que o raio incidente, o raio refratado e a normal no plano de incidência estão contidos no mesmo plano, e que o seno do ângulo de incidência sobre o seno do ângulo refratado é igual ao índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1, conforme a equação 5.2 [17].

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2 \quad (5.2)$$

Ao passar de um meio para o outro, o raio refratado irá se aproximar da normal se o índice de refração do meio 2 for maior que o índice de refração do meio 1, devido a uma diminuição de sua velocidade. Porém, se o índice de refração do meio 2 for menor, o raio refratado aumenta sua velocidade e se afasta da normal. Esses comportamentos podem ser observados experimentalmente, e de fato foi observado e descrito pela Lei de Refração.

Existe na Lei de Snell ² (eq. 5.2) uma relação de proporcionalidade com o índice de refração relativo dos meios, por isso é de extrema importância compreender seu significado. O índice de refração de um material, depende de características com que ele é feito; quanto mais denso o meio, mais resistência a luz terá para passar nesse meio, logo a luz vai perder velocidade e o índice de refração será maior. Isto pode ser explicado devido aos materiais serem feitos de diferentes átomos, e terem diferentes propriedades da matéria, devido a quantidades e diferenças atômicas.

O índice de refração (n) de um meio em relação ao vácuo define o seu índice de refração absoluto. Sendo (c) a velocidade da luz no vácuo, a velocidade da luz (v) num meio de índice de refração n (absoluto), é descrito pela equação 5.3 [17]:

$$n = \frac{c}{v} \quad (5.3)$$

Quando estudamos a Lei de Snell, muitas vezes não conseguimos visualizar as situações propostas. Com este experimento, onde é possível medir indiretamente o índice de refração de soluções, o caminho do feixe e o ângulo de refração podem ser facilmente visualizados, facilitando o entendimento. O desenho do prisma é mostrado na figura (5.1). Para a primeira face do

²A Lei de Snell obtida experimentalmente por ele.

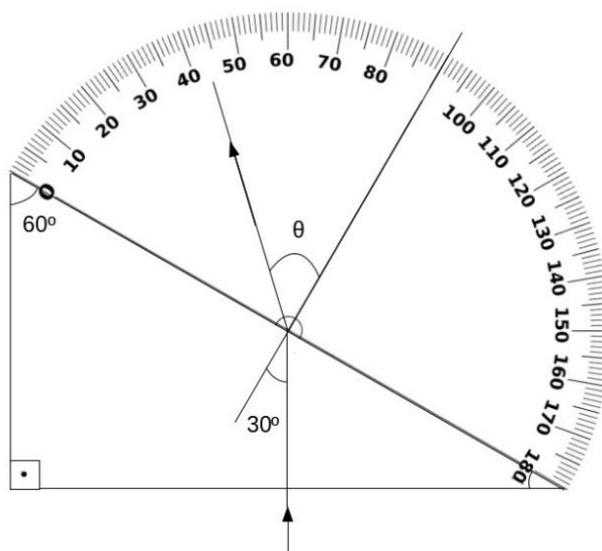


Figura 5.1: Desenho esquemático do prisma e do caminho percorrido pelo feixe de luz.

prisma temos:

$$1 \operatorname{sen}(0) = n_2 \operatorname{sen}(0) \quad (5.4)$$

e para a segunda face do prisma:

$$\begin{aligned} n_2 \operatorname{sen}(30) &= 1 \operatorname{sen}(\theta) \\ n_2 &= 2 \operatorname{sen}(\theta) \end{aligned} \quad (5.5)$$

Devido à simplicidade da montagem, podemos ler o ângulo de refração diretamente no experimento, utilizando a equação 5.5 para calcular o índice de refração da solução.

Usamos soluções de açúcar com diferentes concentrações, e fizemos medidas de seus índices de refração. Além de mostrar uma forma simples de utilização da Lei de Snell, vamos utilizar soluções de açúcar em diferentes concentrações para simular o que acontece no olho do paciente de *diabetes mellitus* quando sua taxa glicêmica está alterada.

Devido a dietas hiperglicêmicas, há um pico de concentração de glicose no olho de pacientes com *diabetes mellitus*, mais precisamente na parte interna do cristalino, ocasionando uma alteração dos índices de refração deste, que acarretam uma desfocagem temporária da visão nos dois olhos. Esta desfocagem é corrigida depois de alguns dias de controle de hiperglicemia, tornando assim a visão do paciente normal. A finalidade dessa motivação é para os alunos relacionarem a Física com a Medicina e a Química.

Os alunos devem responder perguntas antes e depois do experimento para serem levados ao entendimento da Lei de Refração. Os dados obtidos no experimento deverão ser comparados a valores de referência que estão mostrados na tabela 5.1 [28].

5.1.4 Procedimento experimental

Variando as concentrações de açúcar

1. Utilizando uma proveta, bécher e balança, faça as diluições do açúcar:

- (a) **DICA** : Para fazer as diluições, para cada 100 ml de solução, você irá pesar o valor da percentagem de açúcar, e adicionar o volume de água para completar 100 g de solução, ou no caso da água³, 100 ml.

Observações

- Use um pacote de açúcar fechado para evitar que esteja impregnado de umidade e altere assim a sua concentração, isso devido ao açúcar ser higroscópico.
- Use soluções de açúcar pouco concentradas, devido a soluções ficarem amareladas quando muito concentradas, para evitar que atrapalhe no cálculo do índice de refração devido ao fenômeno de absorção⁴.

Exemplo: 20% de solução de açúcar

³A densidade da água é aproximadamente $\frac{1g}{ml}$ à temperatura de 20°.

⁴A coloração amarela presente nas soluções de açúcar deve-se a presença de substâncias pigmentantes no processo de refino do açúcar.

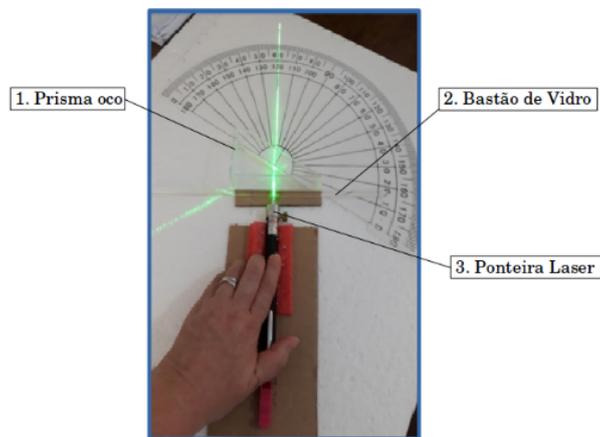


Figura 5.2: Montagem experimental.

- i. pesar 20 gramas de açúcar
 - ii. completar com 80 ml de água
2. Faça a montagem do experimento encaixando o prisma oco (1) no lugar de encaixe, o bastão de vidro (2) no suporte de papelão na frente do apontador laser, e o apontador (3) no seu suporte vermelho. Tome cuidado para que o laser fique bem encaixado, marcando 30° no transferidor com o prisma vazio⁵, conforme a figura 5.2.
 3. Transfira para o prisma as diferentes soluções de açúcar, sempre começando pela mais diluída, e meça seus respectivos ângulos refratados.
 4. Para cada solução de açúcar meça o ângulo de refração e anote na tabela 5.2.

Utilizando uma solução desconhecida de açúcar

1. Proceda pesando 45 gramas de açúcar e completando com 55 ml de água, esta será a solução a 45%.

⁵A cada troca de solução no prisma deve ser verificada a calibração do esquema experimental, verificando se o ângulo refratado com o prisma vazio é 30° .

2. Usando a mesma montagem do item anterior, repita os procedimentos 2, 3 e 4 para a solução com concentração de 45%.

5.1.5 Perguntas

Ao longo da realização do experimento pelos alunos, serão feitas perguntas para auxiliá-los na melhor compreensão da experiência.

1. Qual o valor do ângulo que está marcando no transferidor, com o prisma vazio?
2. O que está acontecendo quando colocamos a solução de açúcar?
3. Quando mudamos a solução, muda o valor do ângulo? Que ângulo é este?
4. Qual a relação dessa mudança e da concentração do açúcar?

Porcentagem de açúcar	índice de refração
0,00%	1,3330
2,00%	1,3359
4,00%	1,3388
6,00%	1,3418
8,00%	1,3448
10,00%	1,3478
12,00%	1,3509
14,00%	1,3541
16,00%	1,3573
18,00%	1,3606
20,00%	1,3639
22,00%	1,3672
24,00%	1,3706
26,00%	1,3741
28,00%	1,3776
30,00%	1,3812
32,00%	1,3848
34,00%	1,3885
36,00%	1,3922
38,00%	1,3960
40,00%	1,3999
42,00%	1,4038
44,00%	1,4078
46,00%	1,4118
48,00%	1,4159
50,00%	1,4201

Tabela 5.1: Índices de refração da solução de açúcar a $20^{\circ}C$, $589,29 \text{ nm}$ concentração $\% m/m$

[28]

5.2 Roteiro do aluno

O roteiro do aluno deve ser aplicado após uma aula expositiva que dê os conceitos fundamentais para o entendimento sobre a óptica geométrica, e também sobre as consequências sobre o açúcar na visão dos pacientes com *diabetes mellitus*, para que a aula fique no contexto da proposta pedagógica.

5.2.1 Questionário pré teste

1. Como você acha que a imagem é formada no olho?
2. Por que algumas pessoas precisam de lentes corretivas para enxergar?
3. Quando você observa um objeto com uma lupa o que você nota? Tente explicar. Cite outros instrumentos ópticos que usam lentes.
4. Você sabe por que objetos que estão dentro da água parecem estar mais próximos?

5.2.2 Procedimento

1. Coloque a solução de açúcar dentro do prisma (comece pela mais diluída).
2. Posicione o laser de forma que ele fique fixo no suporte.
3. Anote os valores dos ângulos obtidos na experiência na tabela 5.2
4. Calcule os índices de refração das soluções e compare com os valores de referência, ao final das perguntas.
5. Faça um gráfico do índice de refração em função da concentração de açúcar, e a partir dele estime aproximadamente a concentração de açúcar na solução desconhecida.

5.2.3 Questionário pós teste

1. Como você explica o fenômeno que observou?
2. O que é índice de refração?
3. Qual o valor do índice de refração da solução desconhecida?
4. Existe uma relação entre refração e visão? Explique.
5. Qual a relação da diabetes com a desfocagem transitória?

Porcentagem de Açúcar	Ângulo de Refração	Índice de Refração
0		
10		
20		
30		
40		
50		
X		
Y		

Tabela 5.2: Tabela apresentada ao aluno

Capítulo 6

Resultados

O experimento proposto foi aplicado em sala de aula em duas ocasiões, com 22 e 18 alunos com idades entre 16 e 17 anos, de duas turmas de segundo ano de ensino médio do horário noturno da rede estadual do município do Rio de Janeiro, do bairro de Campo Grande. Cerca de 60% destes alunos pertencem às classes sociais B¹ e C² [29], com conhecimentos satisfatórios de tecnologia e sem dificuldades aparentes de ensino e aprendizagem.

As duas turmas não sabiam os conceitos sobre óptica geométrica e não tiveram aulas experimentais prévias. A recepção foi positiva, e os alunos ficaram entusiasmados com a dinâmica da aula.

6.1 Turma 1

6.1.1 Observações

Dada a aula expositiva onde foram feitos exemplos sobre refração, tais como: o efeito da piscina parecer mais rasa e o lápis mergulhado no copo d'água parecer quebrado, os alunos tiveram algumas dúvidas conforme descrito a seguir.

Aluno A: *Professora, eu vi um vídeo no YouTube³ que a luz se*

¹Classe B: de 5 à 15 salários mínimos.

²Classe C: de 3 à 5 salários mínimos.

³Site conteúdo de vídeos pela internet 'https://youtube.com'

curvava, é o mesmo efeito?

O vídeo assistido pelo aluno era da plataforma YouTube com o título "**A luz que faz curva na água (EXPERIÊNCIA de FÍSICA)**" [30], o qual mostrava a trajetória da luz dentro de um fluxo de água. O experimento usou um compartimento de água com um orifício, e um apontador laser. A luz nos dá a percepção de que se curva seguindo o fluxo de água ao passar pelo orifício.

Expliquei que era um caso específico sobre o que estava falando, e que neste caso não ocorre a refração e sim reflexão interna, e entraria nesse assunto na próxima aula para que ficasse melhor entendido. Mencionei ainda que era um exemplo experimental sobre o funcionamento da tecnologia de fibras ópticas. Apesar de não ter entrado em detalhes sobre o tema do vídeo, ele servirá de gancho para retomar o assunto em outra aula, onde o propósito for o aprofundamento do tema.

Segui com a aula falando sobre índice de refração absoluto e relativo, Lei de Snell, olho humano, visão e *diabetes mellitus*. Ao falar sobre a influência do açúcar na visão de pacientes diabéticos, os alunos ficaram interessados no assunto, fizeram observações e tiraram algumas dúvidas.

Aluno B: *Professora, a visão fica para sempre assim?*

Expliquei que é temporário, mas pode ir piorando a visão caso a ingestão de açúcar seja contínua, e até levar a perda da visão.

Ao passarmos para o experimento, tiveram muita dificuldades em registrar o ângulo refratado. Muitos alunos, mesmo após a instrução, continuavam medindo a partir do zero graus e não da normal, isso ocasionou ângulos fora do valor já obtidos experimentalmente.

Aluno C: *Professora, mas a gente sempre mede a partir do zero, não é?*

Respondi que nesse caso o zero era considerado a reta normal, e a medida era a partir desse ponto para a esquerda.

Feitas as medidas dos ângulos e calculados os índices de refração das soluções de açúcar, ficaram convencidos que aumentando o índice de refração do meio aumentava o ângulo de refração.

Passaram a responder as perguntas do questionário. Foram feitas quatro perguntas para avaliar o quanto eles conseguiram entender sobre índice de refração e o experimento.

6.1.2 Análise dos resultados

Os 22 alunos foram divididos em grupos de 4 a 5 alunos, para que em grupo fizessem a interpolação gráfica do índice de refração versus concentração de açúcar, pois devido isso ocupar um pouco de tempo em dividir escalas, e interpolar os pontos ocuparia um tempo da aula, além disso era uma questão que eles já teriam um certo domínio e não precisariam ser testados. Nesse grupo de alunos não foi aplicado o pré-teste, para ter uma comparação com os resultados do outro grupo com a aplicação do pré-teste.

Tarefas 1 e 2 - Medir o ângulo refratado e calcular o índice de refração das soluções.

Padrão de respostas dadas sobre o ângulo refratado e índice de refração calculado, apresentado na tabela 6.1

Porcentagem de Açúcar	Ângulo de Refração	índice de Refração
0	43	1,30
10		
20	45	1,41
30	49	1,50
40	50	1,57
50		
X		
Y		

Tabela 6.1: Tabela de respostas dos alunos da turma 1

Observa-se um padrão com esse grupo de alunos que nessa tarefa os ân-

gulos refratados foram medidos longe da reta normal, e os índices de refração foram calculados incorretamente, além disso, muitas respostas em branco.

Pergunta 1 - Como você explica o Fenômeno que observou?

Quatro entre cinco alunos do grupos A responderam corretamente, e 1 justificou como sendo refração.

Dos alunos do grupo B, 3 entre 4 responderam corretamente, e um aluno respondeu sem completar o raciocínio.

Dos alunos do grupo C, 3 entre 5 justificaram como sendo refração.

Todos os alunos dos grupos D e E responderam corretamente, sendo que os do grupo E justificaram o fenômeno como sendo refração.

Como padrão de resposta, destaco algumas a seguir:

Alunos do grupo A: *Mudança da velocidade da luz quando passa de um meio para outro.*

Alunos do grupo B: *Mudança da velocidade da luz quando a mesma troca de meio.*

Alunos do grupo C: *Refração, mudança da velocidade. A luz passa de um meio para outro.*

Alunos do grupo D: *Conforme muda de material a luz muda a velocidade.*

Alunos do grupos E: *Fenômeno da refração da luz.*

Porcentagem	Resultado
40%	descreveram o fenômeno sem classificar
50%	responderam e justificaram como refração
5%	responderam sem completar o raciocínio
5%	não responderam

Tabela 6.2: Resultados para Pergunta 1

Pergunta 2 - O que é índice de refração?

Essa pergunta não teve uma variante nas respostas nos grupos, apenas uma análise quantitativa, os grupos A e B tiveram as mesmas respostas, sendo que no grupo A um aluno não soube responder, e no grupo B todos tiveram o mesmo padrão.

No grupo C, todos os alunos tiveram o mesmo padrão de respostas dos grupos A e B.

No grupo D, 3 dos 4 alunos responderam incompletos a pergunta e um respondeu corretamente.

No grupo E, os alunos não responderam, nesse grupo que classificou o fenômeno como refração na pergunta 1 não conseguiram definir o que era índice de refração.

Alunos dos grupos A e B: *É um medidor da variação de velocidades de um meio para o outro.*

Alunos do grupo C: *Medidor da mudança da velocidade quando da mudança de um meio.*

Alunos do grupo D: *Medidor da mudança da velocidade quando a luz passa de um meio para o outro.*

Porcentagem	Resultado
60%	responderam corretamente
15%	responderam sem completar o raciocínio
25%	não responderam

Tabela 6.3: Resultados para Pergunta 2

Pergunta 3 - Qual o valor do índice de refração da solução desconhecida?

A pergunta 3, sobre qual seria a concentração de açúcar da solução desconhecida, não foi respondida por nenhum grupo pois não conseguiram fazer

os cálculos certos dos índices de refração. Então, a tarefa de fazer o gráfico índice de refração versus concentração não foi realizado.

Pergunta 4 - Existe uma relação entre refração e visão? Explique.

Quatro entre cinco alunos do grupo A, e todos os alunos do grupo B responderam que sim, e justificaram devido a ter refração. Um aluno não respondeu no grupo A e 2 alunos do grupo B colocaram os valores da focalização da córnea e cristalino relacionando ao fenômeno da refração.

Todos os alunos do grupo C responderam devido a ter refração, e 4 entre 5 alunos responderam acrescentando os valores da focalização da luz na córnea e cristalino.

Os alunos do grupo D, 3 entre 4 justificaram devido a ter refração e 1 aluno não respondeu.

Três entre quatro alunos do grupo E responderam que sim, porém não completaram o raciocínio e um aluno não respondeu.

Alguns padrões de respostas são mostradas a seguir:

Alunos do grupos A e B: *Sim, só enxergamos porque existe uma refração no olho.*

Alunos do grupos C: *Sim, quando a luz passa pelo nosso olho ela sofre 2/3 da refração e 1/3 quando passa pelo cristalino.*

É nítido que os alunos com esse perfil de resposta, substituíram o termo focalização por refração, porém entendem que cada parte do olho possui capacidade de desviar os raios luminosos de forma diferente.

Alunos do grupos D: *Só enxergamos porque houve refração.*

Alunos do grupos E: *Sim, quando a luz passa pelo olho ela muda.*

Porcentagem	Resultado
35%	responderam corretamente
35%	responderam corretamente justificaram usando valores da focalização
20%	responderam sem completar o raciocínio
10%	não responderam

Tabela 6.4: Resultados para Pergunta 4

Pergunta 5- Qual a relação entre diabetes com a desfocagem transitória?

No grupo A apenas um aluno não respondeu a pergunta. No grupo B todos responderam corretamente, e foi o grupo com melhor desempenho. No grupo C 2 alunos não responderam e 1 respondeu sem finalizar o raciocínio. No grupo D todos responderam a pergunta corretamente, variando com algumas informações adicionais a resposta. No grupo E todos responderam corretamente, sem variações de respostas significantes.

Alunos do grupos A: *O açúcar aumenta a densidade do líquido que existe no cristalino, ocasionando um quadro de visão turva.*

Interessante falar que o mesmo aluno que não sabia definir índice de refração, respondeu a essa pergunta acrescentando ideias de densidade, índice de refração e cristalino.

Aluno do grupos A: *O índice de refração se modifica com a quantidade de açúcar.*

Esse aluno já conseguiu relacionar a alteração do índice de refração como causa da desfocagem no olho.

Alunos do grupos B: *O açúcar acumula no cristalino e altera o índice.*

Esses alunos já adicionam uma informação importante, que esta alteração é no cristalino.

Alunos do grupos C: *O acumulo da glicose no cristalino embaça a visão.*

Esse aluno já informa que acumula glicose e a visão como é a alteração.

Alunos do grupos D: *Quanto mais alto o nível de açúcar no sangue de um diabético mais turva a visão será.*

Esse aluno relaciona nível de açúcar no sangue alto à relação de visão turva. Informações pré estabelecidas que o diabético têm níveis de açúcar mais altos.

Alunos do grupos E: *O açúcar acumula no cristalino causando a desfocagem*

Porcentagem	Resultado
68%	responderam e justificaram corretamente
14%	responderam incorretamente
18%	não responderam

Tabela 6.5: Resultados para Pergunta 5

6.2 Turma 2

6.2.1 Observações

No segundo dia de aplicação do produto da dissertação, foram observados alguns pontos no transcorrer da aula. Nessa turma foi aplicado um pré-teste além do pós-teste, e mostrou um melhor desempenho da turma.

Alguns alunos confundiram os nomes reflexão e refração. Porém, sabiam a diferença entre os dois fenômenos. A reflexão eles falaram era quando se olhavam em um espelho, e a refração quando a luz mudava de meio.

Aluno B: *Professora, uma vez um professor me mostrou uma garrafa cheia de água, que quando ele botou uma moeda do outro lado ela ficou maior e deu para ver a esfinge. É a mesma coisa que você mostrou agora?*

Expliquei que sim, era devido ao fenômeno da refração.

Souberam calcular o índice de refração pela forma mais simples da Lei de Refração. Entenderam a explicação da demonstração da Lei de Refração simples, respondendo qual seria o ângulo de incidência na segunda face do prisma.

A aula transcorreu bem, porém, como não haviam sido instruídos sobre óptica geométrica, alguns pré conceitos ficaram mais evidentes, como a confusão entre as palavras refração e reflexão.

6.2.2 Análise dos resultados

Os 18 alunos foram divididos em grupos de 4 e 5 alunos, para que em grupo fizessem a interpolação gráfica do índice de refração versus concentração de açúcar, pois devido a isto ocupar um pouco de tempo em dividir escalas, e interpolar os pontos ocuparia um tempo da aula, além disso era uma questão que eles já teriam um certo domínio e não precisariam ser testados. Nesta turma foi aplicado o pré-teste, para ter uma comparação com os resultados do outro grupo com a aplicação sem o pré-teste.

Tarefas 1 e 2 - Medir o ângulo refratado e calcular o índice de refração das soluções.

Padrão de respostas dadas sobre o ângulo refratado e índice de refração calculado, apresentado na tabela 6.6

Observa-se um padrão com esse grupo de alunos, que nessa tarefa os ângulos refratados foram medidos com mais cuidado na referência da reta normal. Apesar dos valores obtidos não serem os mesmos que os valores tabelados, ou aos obtidos na tabela 4.3, estão mais próximos a estes que os medidos pela turma 1.

Porcentagem de Açúcar	Ângulo de Refração	índice de Refração
0	42,0	1,330
10	43,0	1,364
20	43,5	1,377
30	44,0	1,389
40	45,0	1,414
50	45,5	1,427
X	43,0	1,364
Y	44,0	1,389

Tabela 6.6: Tabela de respostas dos alunos da turma 2

Pergunta 1 - Como você explica o Fenômeno que observou?

Todos os alunos dos grupos A, B, C, e D responderam corretamente justificando como sendo refração.

Alunos dos grupos A, B, C e D: *Refração, mudança da velocidade, quando a luz passa de um meio para outro.*

Porcentagem	Resultado
100%	responderam e justificaram como refração

Tabela 6.7: Resultados para Pergunta 1

Pergunta 2 - O que é índice de refração?

Nesta pergunta não teve uma variante nas respostas nos grupos, todos os grupos tiveram o mesmo padrão de respostas e todos responderam a pergunta.

Alunos dos grupo A: *Mudança entre a velocidade da luz e a velocidade no meio.*

Alunos dos grupo B: *Mudança da velocidade da luz no meio.*

Alunos dos grupo C: *O índice de refração é a variação que a velocidade da luz têm.*

Alunos dos grupo D: *Mudança da luz em relação ao meio.*

Porcentagem	Resultado
100%	responderam corretamente

Tabela 6.8: Resultados para Pergunta 2

Pergunta 3 - Qual o valor do índice de refração da solução desconhecida?

A pergunta 3, sobre qual seria a concentração de açúcar da solução desconhecida, todos fizeram o gráfico em grupo e todos os grupos responderam corretamente, achando a concentração de 24% e 36% para as soluções X e Y, respectivamente, quando foi mostrada a tabela com os valores de referência a eles.

Pergunta 4 - Existe uma relação entre refração e visão? Explique.

Apenas um aluno do grupo B não respondeu, os outros alunos dos grupos responderam sim com diversas formas de explicar o processo de visão.

Alunos dos grupo A: *Sim, o que acontece é que a imagem entra e é refletida.*

É nítido que os alunos que responderam esse perfil de resposta, substituem a palavra refração por reflexão, pois na pergunta fala de refração, logo tem uma ideia que a luz ao entrar é desviada.

Alunos dos grupo B: *Sim, a luz quando entra pela pupila é formada no nervo ótico.*

Esses alunos já apresentam mais informações a respeito do processo da visão.

Alunos dos grupo C: *Sim, na retina.*

Alunos dos grupo E: *Sim, porque a luz sofre refração.*

Porcentagem	Resultado
76%	responderam corretamente
16%	responderam corretamente falaram em reflexão
8%	não responderam

Tabela 6.9: Resultados para Pergunta 4

Pergunta 5 - Qual a relação entre diabetes e desfocagem transitória?

Todos os alunos dos grupos A e B relacionaram a desfocagem com acúmulo de açúcar no cristalino.

Todos os alunos dos grupos C e D relacionaram a diabetes com ingestão de açúcar e vista embaçada.

Alunos dos grupos A e B: *O açúcar acumula no cristalino e a imagem se forma com dificuldades.*

Esses alunos apresentam uma ideia do que está acontecendo, porém sem muitas informações importantes.

Aluno do grupos C e D: *Vê embaçado.*

Esses alunos já não conseguiram relacionar o acúmulo de açúcar no sangue com o processo de visão.

Porcentagem	Resultado
50%	responderam e justificaram corretamente
50%	responderam insatisfatoriamente

Tabela 6.10: Resultados para Pergunta 5

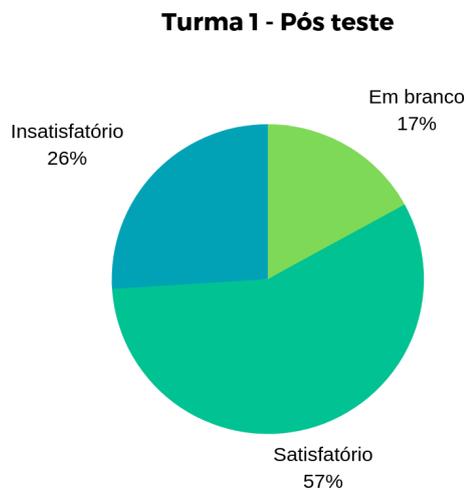


Figura 6.1: Gráfico Turma 1 - Pós teste.

6.3 Análise gráfica dos resultados

Como podemos observar nos gráficos 6.1, 6.2 e 6.3, nota-se um aumento de 25% nos resultados dos questionários na segunda aplicação na turma 2 nas respostas satisfatórias, com a utilização de um pré-teste nesta turma verificou-se um aumento de 52% nas respostas satisfatórias.

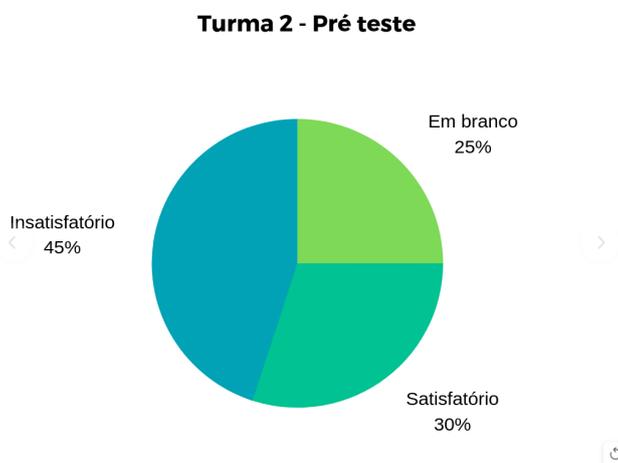


Figura 6.2: Gráfico Turma 2 - Pré teste.

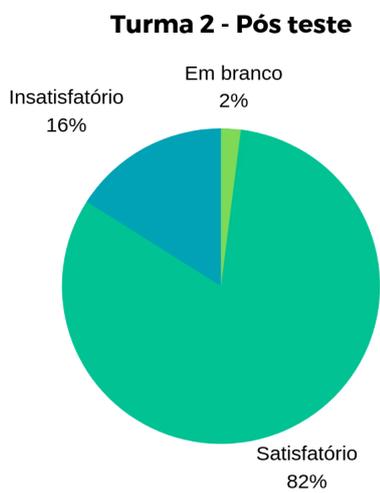


Figura 6.3: Gráfico Turma 2 - Pós teste.

Capítulo 7

Conclusão

Os dados coletados com o experimento, comparados com os dados de referência para o açúcar, mostraram-se próximos.

A técnica utilizada se mostrou adequada para a determinação de concentração de soluções de açúcar, dada a sua precisão. Para a solução de açúcar a 50%, apresentou um desvio angular de 0,5 graus ao passar da parede do prisma de acrílico para o ar, o que está dentro da incerteza do transferidor impresso que é de 0,5 graus. Para as concentrações menores esse desvio é menor.

Os alunos ficaram bem envolvidos com o tema da aula, embora não tivessem tido ainda uma instrução sobre o assunto, isto é, não tiveram o conteúdo formal de óptica geométrica. A motivação da aula sobre a visão e diabetes fez com que eles participassem e se mostrassem interessados. Os exemplos dados em sala de aula, na aula expositiva, despertaram a curiosidade e fizeram com que interagissem fazendo perguntas, e relacionando assuntos que tiveram contato com seu dia a dia.

O objetivo desse trabalho era apresentar a Física sob o aspecto interdisciplinar, e o resultado coletado na análise dos dados mostrou-se positivo, visto que os alunos conseguiram relacionar o fenômeno da refração com a visão.

Na aplicação do questionário, ficou evidente que os alunos apresentam concepções pré-existentes entre a relação de reflexão e refração. Alguns alunos não souberam apresentar o nome correto, confundiram os nomes dos

fenômenos, porém sabiam descrever o que acontecia em cada um deles.

Apesar da maioria dos alunos relacionar o índice de refração a uma mudança de velocidade da luz quando muda de meio, nenhum foi capaz de definir o índice de refração relativo através da Lei de Snell. A maioria dos alunos conseguiu relacionar o índice de refração com as diferentes velocidades da luz dependendo do meio, apesar de não demonstrar matematicamente esta relação.

A aplicação na primeira turma mostrou uma dificuldade em medir o ângulo de refração. Apesar da orientação, não obtiveram os ângulos corretos, pois não mediram a partir da normal. Isso mostra uma dificuldade geométrica, com falta de informação de conhecimentos básicos sobre matemática, como geometria e raciocínio geométrico. Porém, ficou claro que o ângulo de refração mudava quando mudava a solução, maior para a mais concentrada.

Ao ser aplicado de novo em outra turma, foram tomados alguns cuidados, como chamar a atenção para o que era reta normal. Nesse grupo de alunos foi aplicado um pré-teste e comparado ao final com o pós-teste. O desempenho foi superior ao primeiro grupo de 25%, a turma foi mais cuidadosa ao medir seus ângulos, o que mostra um entendimento matemático geométrico.

Mais um vez, os alunos ainda não haviam sido instruídos a respeito da Lei de Refração, porém dessa vez, obtivemos resultados melhores no pós-teste. Os alunos conseguiram relacionar o índice de refração com mudança de velocidade, conseguiram relacionar a visão com refração, e gostaram do assunto da aula, devido à importância da motivação que a diabetes despertou.

A Lei da Reflexão e a Lei de Refração são ensinadas no ensino formal em muitos países, inclusive no Brasil, contudo, a forma com que este conteúdo é abordado não facilita de forma suficiente a compreensão do aluno sobre essas leis.

Explicar ao aluno que ele está observando um fenômeno óptico, muitas vezes parece uma tarefa difícil, esta dificuldade é acentuada quando o aluno tem dificuldade de abstração.

Apesar da óptica geométrica ser uma parte da Física que é trabalhada desde o ensino fundamental, os alunos carregam dificuldades de entender a relação entre a Lei de Snell e o índice de refração relativo. Além disso, apre-

sentam várias concepções pré-existentes, que atrapalham o ensino e aprendizagem do fenômeno da refração.

Um ponto positivo do estudo foi que todos os alunos avaliados apresentaram melhor entendimento sobre o assunto, e maior interesse sobre os temas propostos, após a experimentação. Foi observado na análise no segundo grupo de alunos, onde foi aplicado um pré-teste seguido de um pós-teste, um significativo aumento nas respostas satisfatórias.

A interdisciplinariedade da aula também foi positiva, pois possibilitou maior aprendizado do tema. O interesse aumentou devido à relação entre a *diabetes mellitus* e visão, porque a doença era conhecida por todos.

Assim, acredito que o método aqui proposto para o ensino de refração, possa ser utilizado em turmas de ensino médio com bons resultados. Não foi abordado neste trabalho, mas além da refração, o experimento pode ser utilizado para ilustrar reflexão, já que o feixe refletido na segunda interface do prisma é visível, e pode ser explorado com os alunos que o ângulo de reflexão não varia com a mudança da concentração das soluções de açúcar.

Referências Bibliográficas

- [1] W. N. Charman, Adnan, and D. A. Atchison, “Gradients of refractive index in the crystalline lens and transient changes in refraction among patients with diabetes,” *Biomedical Optics Express*, vol. 3, p. 3033, 2012.
- [2] E. Barros Lopes, “Refração e o ensino de Óptica,” Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, https://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2014_Eric_Lopes/dissertacao_Eric_Lopes.pdf, 2014.
- [3] M. John, J. M. Molepo, and M. Chirwa, “Exploring grade 11 learners’ conceptual understanding of refraction: A south african case study,” *International Journal of Educational Sciences*, vol. 10, no. 3, pp. 391–398, 2015.
- [4] G. Fyttas, V. Komis, and K. Ravanis, “Ninth grade students’ mental representations of the refraction of light: didactic implications,” vol. 59, no. 2, pp. 133–139, 2013.
- [5] K. Keawkhong, N. Emarat, K. Arayathanitkul, C. Soankwan, and R. Chitaree, “Student’s misunderstanding in using a ray diagram in light refraction,” *Thai Journal of Physics*, 2008.
- [6] W. S. Duke-Elder, “Changes in refraction in diabetes mellitus,” *British Journal of Ophthalmology*, vol. 9, pp. 167 – 187, 1925.
- [7] N. G. M. Wiemer, M. Dubbelman, P. J. Ringens, and B. C. Polak, “Changes in refraction in diabetes mellitus,” *Acta Ophthalmologica*, vol. 87, pp. 176 – 182, 2009.
- [8] N. G. M. Wiemer, M. Dubbelman, P. J. Kostense, P. J. Ringens, and B. C. Polak, “The influence of chronic diabetes mellitus on the thickness and the shape of the anterior and posterior surface of the cornea,” *Cornea*, vol. 26, pp. 1165 – 1170, 2007.

- [9] Y. Saito, G. Ohmi, S. Kinoshita, Y. Nakamura, K. Ogawa, S. Harino, and M. Okada, “Transient hyperopia with lens swelling at initial therapy in diabetes,” *British Journal of Ophthalmology*, vol. 77, pp. 145 – 148, 1993.
- [10] D. Frazão, “Euclides matemático de alexandria.” <https://www.ebiografia.com/euclides/>. Online; acessado em 12 de outubro de 2019.
- [11] A. Rita Ribeiro, L. Coelho, O. Bertolami, and R. André, “Luz: História, natureza e aplicações.” <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/article/982/pdf>. Online; acessado em 12 de outubro de 2019.
- [12] E. Vieira, “Biografia de Heron de Alexandria.” <http://biografiae curiosidade.blogspot.com/2014/10/biografia-de-heron-de-alexandria.html>, 2014. Online; acessado em 12 de outubro de 2019.
- [13] E. Santiago, “Ptolomeu.” <https://www.infoescola.com/biografias/ptolomeu/>. Online; acessado em 12 de outubro de 2019.
- [14] I. Islam, “Ibn al-haytham – o primeiro cientista.” <https://iqaraislam.com/ibn-al-haytham-o-primeiro-cientista/>. Online; acessado em 12 de outubro de 2019.
- [15] R. P. Feynman, R. B. Leighton, and M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, vol. 1. Editora Bookman, 2008.
- [16] F. W. d. Silva, “A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos,” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, pp. 149 – 159, 2007.
- [17] H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, vol. 4. Blucher, 2014.
- [18] S. Pilling, “Prática 11 – refratometria. determinação do índice de refração de líquidos.” https://www1.univap.br/spilling/FQE2/FQE2_EXP11_Refratometria.pdf, 2011. Online; acessado em 22 de setembro de 2019.
- [19] D. J. Griffiths, *Eletrodinâmica*. Pearson Education do Brasil, 2011.
- [20] P. Fernandes, “Educação básica na África do sul pós-1994: redemocratização quantitativa e qualitativa.” [https://blogdopedrofernandes.wordpress.com/2015/05/11/educacao-basica-na-africa-do-sul-pos-1994-redemocratizacao\](https://blogdopedrofernandes.wordpress.com/2015/05/11/educacao-basica-na-africa-do-sul-pos-1994-redemocratizacao/)

- \-quantitativa-e-qualitativa/, 2015. Online; acessado em 22 de setembro de 2019.
- [21] W. Siu and M. Se-yuen, “Investigative studies of refractive indices of liquids and a demonstration of refraction by the use of a laser pointer and a lazy susan,” *Physics Education*, vol. 43, p. 198, 2008.
- [22] “Educação na tailândia.” https://https://pt.wikipedia.org/wiki/Educacao_na_Tailandia, 2017. Online; acessado em 22 de setembro de 2019.
- [23] E. Okuno, I. L. Caldas, and C. Chow, *Física para ciências biológicas e biomédicas*. Editora Harbra Ltda., 1982.
- [24] Érika M., “Amaurose congênita de leber: causas, sintomas e tratamento.” <http://www.shalom690.com/post.php?id=1868>. Online; acessado em 05 de janeiro de 2020.
- [25] K. C. Mundim, “Aula -3 - a luz como um fenômeno eletromagnético.” <http://lilith.fisica.ufmg.br/~wag/TRANSF/TEACHING/FERMAT/aula-3.htm>. Online; acessado em 08 de setembro de 2019.
- [26] V. Drauzio, “Miopia, hipermetropia e astigmatismo.” <https://drauziovarella.uol.com.br/doencas-e-sintomas/miopia-hipermetropia-e-astigmatismo/>. Online; acessado em 05 de janeiro de 2020.
- [27] H. Selin, *Encyclopaedia of the History of Science, Technology and Medicine in Non-Western Cultures*. Springer Science + Business Media Dordrecht, 1997.
- [28] ChemBuddy, “Refractive index of sucrose solutions.” <http://www.refractometer.pl/refraction-datasheet-sucrose>, 2011. Online; acessado em 22 de julho de 2019.
- [29] D. M. Direto, “Lista de classes sociais IBGE.” <http://www.datosmarketing.com.br/listas-detalhes-classes-sociais.asp>. Online; acessado em 19 de outubro de 2019.
- [30] I. Thenório, “A luz que faz curva na água (experiência de física).” <https://www.youtube.com/watch?v=F69tWoZa4ic>. Online; acessado em 19 de outubro de 2019.

Roteiro do Professor

A.1 Materiais utilizados

- Uma placa de isopor de 1 cm de espessura.
- Uma placa de isopor de 3 cm de espessura.
- Um tubo de cola de isopor.
- Um estilete 18 mm.
- Um prisma de acrílico triangular, oco com abertura, com as seguintes especificações: (figura A1).
 - Espessura: 2,3 mm
 - Lado 1: 13,0 cm
 - Lado 2: 11,5 cm
 - Lado 3: 6,5 cm
 - Altura: 4,5 cm
- Bastão de vidro de 6,65 mm - figura A2.
- Colimador - figura A3.
- Apontador Laser - figura A4 .
- Alfinete.
- Impressão de transferidor no tamanho A3 - figura A5.

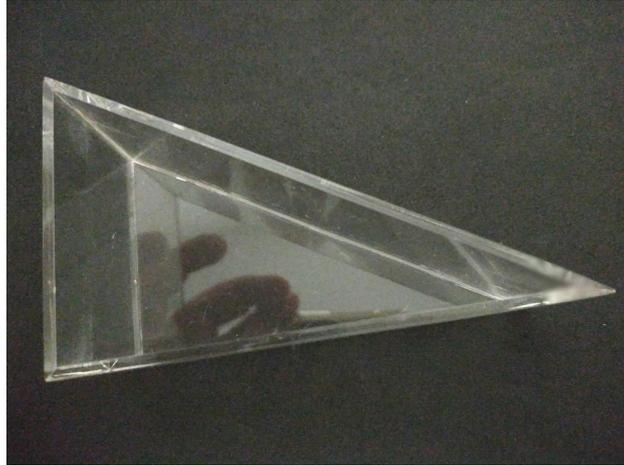


Figura A1: Prisma de Acrílico.



Figura A2: Bastão de vidro.



Figura A3: Colimador.



Figura A4: Apontador Laser.

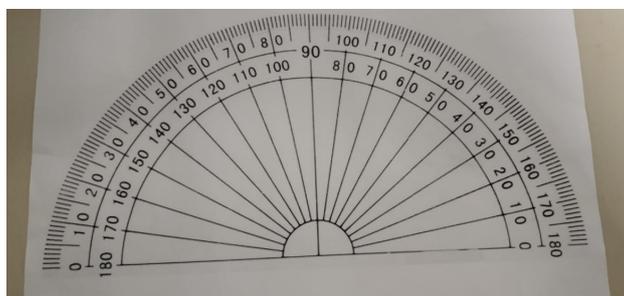


Figura A5: Transferidor impresso.

A.2 Montagem do Experimento

1. Corte na placa de isopor de espessura menor as dimensões exatas do prisma com estilete. A hipotenusa do prisma deve ficar voltada para a direção que vai ser colado o transferidor, conforme figura A6.
2. Cole as duas placas de isopor com cola e espere secar.
3. Pegue um par de esquadros e faça uma marcação com caneta no lado oposto ao ângulo 60° de forma que quando o laser for colocado a incidência dele seja paralela à reta normal ¹.
4. Coloque o transferidor impresso preso com alguns alfinetes, e monte o experimento com o prisma no buraco, o bastão de vidro, e o laser no local marcado. Vá acertando a posição do transferidor para que o feixe de laser, ao sair do prisma, esteja alinhado no ponto central do transferidor, e na posição de leitura do ângulo de 30° (em relação à normal). Conforme figura A6.

DICA : Para que o bastão de vidro fique parado em frente à incidência do laser, e também o feixe incida no seu meio, faça um suporte com papelão medindo a altura e cole. Faça também um suporte para o laser, para que ele não se mova no decorrer das medidas, e acarrete possíveis erros de leitura no transferidor, conforme figura A7.

¹Marque um ângulo de 90° onde ficará o laser.



Figura A6: Montagem sem o prisma, o bastão e o apontador laser.

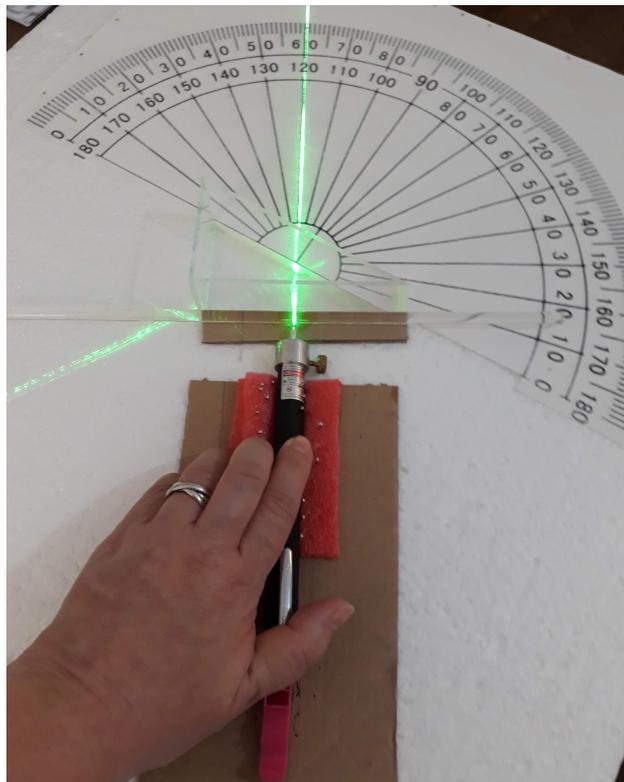


Figura A7: Esquema montado com todos os elementos.

A.3 Roteiro de Experimentação

Este capítulo apresenta uma sugestão de roteiro de experimentação para uso nas aulas de ensino médio, que servirá de auxílio simples e acessível tanto ao professor quanto aos alunos, no ensino e aprendizagem da Lei de Refração.

O roteiro do professor mostra a Teoria da Refração, o procedimento experimental para ele realizar o passo a passo da experimentação e sugere perguntas que podem ser feitas para melhorar o ensino e aprendizagem do aluno sobre o tema.

O roteiro do aluno mostra como anotar as medidas aferidas dos ângulos de refração, os procedimentos para obter os índices de refração das soluções de açúcar, e como representar da forma gráfica a relação entre concentração de açúcar na solução e o índice de refração.

A.4 Material

- Bastão de vidro
- Prisma oco de 100 ml
- Apontador laser
- Bécher 125 ml
- Proveta 100ml
- Balança analítica

A.5 Objetivo

Estudar a Lei de Snell através da medida de índices de refração.

A.6 Introdução Teórica

O que acontece quando a luz atravessava de um meio homogêneo para outro? Falando sob a visão microscópica, existem camadas de moléculas sobrepostas, onde a luz ao passar por cada uma delas, sofre uma resistência devido às moléculas existentes no material, e perde velocidade gradativamente.

Quando observamos uma colher dentro de um copo com água, e temos a percepção de que ela está torta, esse fenômeno deve-se à refração da luz, devido à passagem da luz de um meio para o outro, com diferentes índices

de refração, temos a impressão que a colher está em uma posição onde ela não está.

A Lei da Reflexão é conhecida desde a Grécia antiga. Sempre que um raio de luz incide numa superfície refletora, é possível prever em que direção será refletido, se conhecermos as Leis da Reflexão.

A Lei da Reflexão diz que o raio refletido pertence ao plano de incidência, e que o ângulo refletido é igual ao ângulo de incidência (equação A.1) [17].

$$\theta_i = \theta_r \quad (A.1)$$

A Lei de Refração foi descrita primeiramente por Ibn Sahl² em 984, sendo mais tarde formulada por Willebrord Snell em 1621 e revista por René Descartes em 1637 [17, 27].

A Lei de Refração diz que o raio incidente, o raio refratado e a normal no plano de incidência estão contidos no mesmo plano, e que o seno do ângulo de incidência sobre o seno do ângulo refratado é igual ao índice de refração do meio 2 em relação ao meio 1, conforme a equação [17](A.2)

$$n_1 \sen \theta_1 = n_2 \sen \theta_2 \quad (A.2)$$

Ao passar de um meio para o outro, o raio refratado irá se aproximar da normal se o índice de refração do meio 2 for maior que o índice de refração do meio 1, devido a uma diminuição de sua velocidade. Porém, se o índice de refração do meio 2 for menor, o raio refratado aumenta sua velocidade e se afasta da normal. Esses comportamentos podem ser observados experimentalmente, e de fato foi observado e descrito pela Lei de Refração.

Existe na Lei de Snell³ uma relação de proporcionalidade com o índice de refração relativo dos meios, por isso é de extrema importância compreender seu significado. O índice de refração de um material depende de características com que é feito esse material; e quanto mais denso o meio, mais resistência à passagem da luz esse meio irá ter. Logo, a luz vai perder velocidade nesse meio, e o índice de refração será maior. Isso pode ser explicado, os materiais são feitos de diferentes átomos, e têm diferentes propriedades da matéria, devido a quantidades e diferenças atômicas.

O índice de refração (n) de um meio em relação ao vácuo define o seu índice de refração absoluto. Sendo (c) a velocidade da luz no vácuo, a velocidade da luz (v) num meio de índice de refração n (absoluto), é descrito pela equação A.3 [17]:

²Cientista Islâmico da segunda metade do século 10 que estudou a refração em lentes

³A Lei de Snell foi obtida experimentalmente

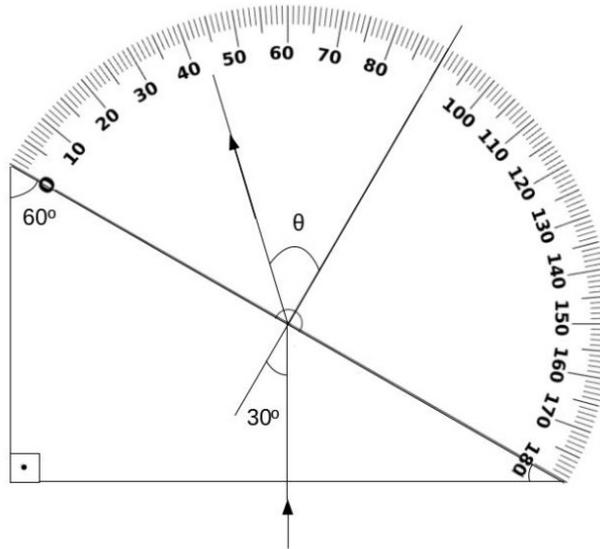


Figura A8: Desenho esquemático do prisma e do caminho percorrido pelo feixe de luz.

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{A.3})$$

Quando estudamos a Lei de Snell, muitas vezes não conseguimos visualizar as situações propostas. Com este experimento, podemos medir indiretamente o índice de refração de soluções, usando de forma mais simples a Lei de Snell, devido à montagem do prisma oco no experimento. A figura A8 apresenta um desenho esquemático da montagem experimental com o prisma.

Para a primeira face do prisma temos a equação A.4

$$1 \operatorname{sen}(0) = n_2 \operatorname{sen}(0) \quad (\text{A.4})$$

Para a segunda face do prisma temos a equação A.5

$$\begin{aligned} n_2 \operatorname{sen}(30) &= 1 \operatorname{sen}(\theta) \\ n_2 &= 2 \operatorname{sen}(\theta) \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

Devido à simplicidade da montagem, podemos ler o ângulo de refração diretamente no experimento, utilizando a equação A.5 para calcular o índice de refração da solução. Usaremos soluções de açúcar com diferentes concen-

trações, e faremos medidas de seus índices de refração. Além de mostrar uma forma simples de utilização da Lei de Snell, vamos utilizar soluções de açúcar para simular o que acontece no olho do paciente de diabetes mellitus quando sua taxa glicêmica está alterada.

Devido a dietas hiperglicêmicas, há um pico de concentração de glicose no olho de pacientes com diabetes mellitus, mais precisamente na parte interna do cristalino, ocasionando uma alteração dos índices de refração deste, que acarretam uma desfocagem temporária da visão nos dois olhos. Essa desfocagem é restabelecida após alguns dias após o início do tratamento, tornando assim a visão do paciente normal. A finalidade dessa motivação é para os alunos relacionarem a Física com a Medicina e a Química.

Os dados obtidos no experimento deverão ser comparados a valores de referência que estão mostrados na tabela A1 [28].

Porcentagem de açúcar	índice de refração
0,00%	1,3330
2,00%	1,3359
4,00%	1,3388
6,00%	1,3418
8,00%	1,3448
10,00%	1,3478
12,00%	1,3509
14,00%	1,3541
16,00%	1,3573
18,00%	1,3606
20,00%	1,3639
22,00%	1,3672
24,00%	1,3706
26,00%	1,3741
28,00%	1,3776
30,00%	1,3812
32,00%	1,3848
34,00%	1,3885
36,00%	1,3922
38,00%	1,3960
40,00%	1,3999
42,00%	1,4038
44,00%	1,4078
46,00%	1,4159
48,00%	1,4159
50,00%	1,4201

Tabela A1: Índices de refração da solução de açúcar a 20°C , $589,29\text{nm}$ concentração $\% m/m$

[28].

A.7 Procedimento experimental

A.7.1 Variando as concentrações de açúcar

1. Utilizando uma proveta, bécher e balança, faça as diluições do açúcar:
 - (a) Para fazer as diluições para cada 100 ml de solução, você irá pesar o valor da porcentagem de açúcar, e adicionar o volume de água para completar 100 g de solução, ou no caso da água, 100 ml⁴.

Observações

- Use um pacote de açúcar fechado para evitar que esteja impregnado de umidade, e altere assim a sua concentração, isso devido ao açúcar ser higroscópico.
- Use soluções de açúcar pouco concentradas, devido a soluções ficarem amareladas quando muito concentradas, para evitar que atrapalhe no cálculo do índice de refração devido ao fenômeno de absorção⁵.

Exemplo: 20% de solução de açúcar

- i. pesar 20 gramas de açúcar
 - ii. completar com 80 ml de água
2. Faça a montagem do experimento encaixando o prisma oco (1) no lugar de encaixe, o bastão de vidro (2) no suporte de papelão na frente do apontador laser, e o apontador (3) no seu suporte vermelho. Tomando cuidado para que o laser fique bem encaixado, marcando 30° com o prisma vazio. Figura (A9).
 3. Transfira as diferentes soluções de açúcar, sempre começando pela mais diluída, e meça seus respectivos ângulos refratados.
 4. Para cada solução de açúcar, meça o ângulo de refração.

A.7.2 Utilizando uma solução desconhecida de açúcar

1. Proceda pesando 45 gramas de açúcar e completando com 55 ml de água, esta será a solução a 45%.
2. Usando a mesma montagem do item anterior, repita os procedimentos 2, 3 e 4 para a solução com concentração de 45%.

⁴A densidade da água é aproximadamente $\frac{1g}{cm^3}$ à temperatura de 20°.

⁵A coloração amarela presente nas soluções de açúcar deve-se a presença de substâncias pigmentantes no processo de refino do açúcar.

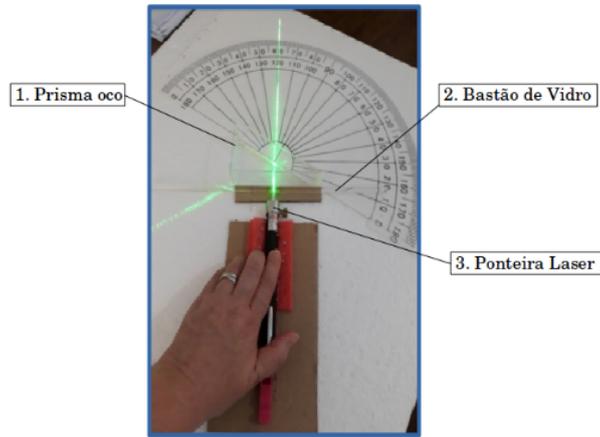


Figura A9: Montagem experimental.

A.8 Perguntas

1. Qual o valor do ângulo que está marcando no transferidor, com o prisma vazio?
2. O que está acontecendo quando colocamos a solução de açúcar?
3. Quando mudamos a solução, muda o valor do ângulo? Que ângulo é esse?
4. Qual a relação dessa mudança e da concentração do açúcar?

As perguntas sugeridas no roteiro são para que os alunos consigam acompanhar o que vai acontecer no experimento, e possam entender o fenômeno da refração da luz. Para aplicação do roteiro do aluno, deve ser aplicado após uma aula expositiva que dê os conceitos fundamentais para o entendimento dos alunos sobre a óptica geométrica, e também sobre as consequências sobre o açúcar na visão dos pacientes com diabetes mellitus para que a aula fique no contexto da proposta pedagógica.

Roteiro do aluno

B.1 Introdução

A Lei de Refração, também chamada de Lei de Snell ou Lei de Snell Descartes, foi primeiramente demonstrada experimentalmente pelo matemático e astrônomo holandês Wilebrord Snell em 1621. Posteriormente, foi revisitada por René Descartes, sendo demonstrada por cálculos geométricos. Descartes era um filósofo matemático, e físico, que foi o criador da geometria analítica, tendo estabelecido os princípios da óptica geométrica.

A Lei de Refração diz que o raio incidente, o raio refratado, a normal a superfície, estão no mesmo plano, e que o seno do ângulo incidente sobre o seno do ângulo refratado é igual ao índice de refração relativo do meio 2 em relação ao meio 1 ¹, conforme equação B.1.

$$n_1 \sen \theta_1 = n_2 \sen \theta_2 \quad (\text{B.1})$$

O índice de refração (n) de um meio em relação ao vácuo define o seu índice de refração absoluto. Sendo (c) a velocidade da luz no vácuo, a velocidade da luz (v) num meio de índice de refração n (absoluto), é descrito como a equação B.2.

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{B.2})$$

B.2 Questionário Pré-teste

1. Como você acha que a imagem é formada no olho?
2. Por que algumas pessoas precisam de lentes corretivas para enxergar?
3. Quando você observa um objeto com uma lupa, o que você nota? Tente explicar. Cite outros instrumentos ópticos que usam lentes.

¹Conforme o livro: **Curso de Física Básica** (Volume 4), de Moysés Nussenzveig.

4. Você sabe por que dentro d'água os objetos parecem mais próximos?

B.3 Procedimento Experimental

1. Coloque a solução de açúcar dentro do prisma (comece pela mais diluída).
2. Posicione o laser de forma que ele fique fixo no suporte ².

B.4 Tarefas

1. Anote os valores dos ângulos obtidos na experiência na tabela B1.
2. Calcule os índices de refração das soluções e compare com os valores de referência, ao final das perguntas.
3. Faça um gráfico Índice de Refração versus concentração de açúcar, e a partir dele estime, aproximadamente, a concentração de açúcar na solução desconhecida.

B.5 Questionário Pós-Teste

1. Como você explica o fenômeno que observou?
2. O que é índice de refração?
3. Qual o valor do índice de refração da solução desconhecida?
4. Existe uma relação entre refração e visão? Explique.
5. Qual a relação da diabetes com a desfocagem transitória?

²A cada troca de solução no prisma oco deve ser verificado a calibração do esquema experimental, verificando se o ângulo refratado com o prisma vazio é 30°.

Porcentagem de Açúcar	Ângulo de Refração	índice de Refração
0		
10		
20		
30		
40		
50		
X		
Y		

Tabela B1: Tabela apresentada ao aluno.