

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

VALTER DE ASSIS DANTAS

**Utilização da Plataforma *GlowScript* na Sala de
Aula Explorando o Seu Potencial para a
Aprendizagem Significativa de Óptica
Geométrica**

Recife/PE

agosto /2024

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

VALTER DE ASSIS DANTAS

**Utilização da Plataforma *GlowScript* na Sala de Aula
Explorando o Seu Potencial para a Aprendizagem
Significativa de Óptica Geométrica**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física (MNPEF) polo Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) como parte dos requisitos necessários à obtenção título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Adauto José Ferreira de Souza

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO- UFRPE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

Orientador: Adauto José Ferreira de Souza

Coorientador: Énery Gislayne de Sousa Melo

Recife/PE

agosto /2024

VALTER DE ASSIS DANTAS

Utilização da Plataforma *GlowScript* na Sala de Aula Explorando o Seu Potencial para a Aprendizagem Significativa de Óptica Geométrica/ VALTER DE ASSIS DANTAS. – Recife/PE, agosto /2024-

147 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Adauto José Ferreira de Souza

Dissertação (Mestrado) – UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO- UFRPE

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA, agosto /2024.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. I. Orientador. II. Universidade xxx. III. Faculdade de xxx. IV. Título

CDU 02:141:005.7

VALTER DE ASSIS DANTAS

Utilização da Plataforma *GlowScript* na Sala de Aula Explorando o Seu Potencial para a Aprendizagem Significativa de Óptica Geométrica

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física (MNPEF) polo Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) como parte dos requisitos necessários à obtenção título de Mestre em Ensino de Física.

Prof. Dr. Adauto José Ferreira de Souza

**Prof^o. Dr. Adauto José Ferreira de
Souza**
Orientador

**Prof^o. Dra. Énery Gislayne de Sousa
Melo**
Coorientadora

Prof^o. Dr. José Wilson Vieira
Convidado externo IFPE e UPE

Professor
Convidado 3

Recife/PE
agosto /2024

Este trabalho é dedicado aos meus netos e netas.

Agradecimentos

A minha esposa, Rosangela Guedes Machado Dantas, na ajuda para não perder o foco nos momentos de escrita.

A minha filhastra, Nathalia Andressa Machado Pimentel de Oliveira que teve um papel fundamental em ler e dar sugestões durante o meu processo de escrita.

A meu orientador, Prof^o Dr. Adauto José Ferreira de Souza, pela paciência e dedicação nos ensinamentos da linguagem de programação.

A minha coorientadora Énery Gislayne de Souza Melo.

Ao meu, prof^o Dr. Michael Lee Sundheimer e coordenador do polo.

A meu psicólogo, Aluísio Augusto Soares de Melo teve um papel fundamental na organização de meu trabalho na escrita

A colega e coordenadora pedagógica do EREM JOSÉ MARIANO, Márcia Dantas Gico, pelo apoio e as críticas construtivas na implementação de meu produto educacional na escola.

A minha Gestora, Sylvia Roberta Muniz da Silva Cavalcanti do EREM JOSÉ MARIANO, pelo apoio e na implementação de meu produto educacional na escola.

A Sociedade Brasileira de Física (SBF)- Gestora do Mestrado Profissional de Ensino de Física.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro.

Meu amigo de trabalho na ETE Cícero Dias, João Bosco A. Fernandes, pelo incentivo e apoio.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*

Resumo

Embora a Física seja uma disciplina de base experimental, com vasta conexão com a realidade que cerca os estudantes, o Ensino de Física ainda necessita incorporar esses dois aspectos no cotidiano da sala de aula. Nessa dissertação, apresentamos uma proposta de uso de simulações computacionais com a intenção de aproximar o conteúdo teórico da fenomenologia que aquele pretende descrever. A nossa proposta, baseada na Anna Maria de Carvalho, explora situações-problema para promover uma aprendizagem significativa e busca despertar nos estudantes uma postura ativa através do uso de uma ferramenta que permite a aprendizagem por investigação e a realização de demonstrações investigativas. O Produto Educacional, resultante, consiste em uma sequência didática sobre óptica geométrica, composta por um conjunto de aulas a serem apresentadas na plataforma GlowScript. Além disso, o Produto Educacional introduz o leitor à linguagem de programação Python e ao ambiente GlowScript. O objetivo é fornecer um ambiente interativo que engaje os estudantes do Ensino Médio em uma aprendizagem ativa de Física. Enfatizamos a associação entre a sala de aula e o uso de computadores como um recurso enriquecedor e potencializador no processo de ensino e aprendizagem. O ambiente GlowScript permite o desenvolvimento de múltiplas funções diretamente no navegador, com o uso do módulo Vpython para criar e manipular figuras/objetos tridimensionais de maneira simples, além de traçar gráficos de funções e desenhar curvas. Isso possibilita criar animações de fenômenos físicos a partir da solução das equações básicas que governam a evolução temporal das grandezas que descrevem o comportamento do sistema. O código desenvolvido foi pensado para permitir que o usuário interaja com a simulação, modificando os parâmetros, as condições iniciais, ou até mesmo reescrevendo-o.

Palavras-chaves: Aprendizagem Significativa. Ensino por Investigação. VPython.

Abstract

Physics is an experimental discipline with a broad connection to the reality surrounding students; Physics Teaching must incorporate these two aspects into the classroom routine. In this dissertation, we present a proposal for using computer simulations to bring theoretical content closer to the phenomenology it aims to describe. Our proposal, based on Anna Maria de Carvalho, explores problem situations to promote meaningful learning and seeks to awaken in students an active stance by using a tool that allows learning through investigation and the performance of investigative demonstrations. The resulting Educational Product consists of a didactic sequence on geometric optics, comprising a set of classes on the GlowScript platform. In addition, the Educational Product introduces the reader to the Python programming language and the GlowScript environment. The goal is to provide an interactive environment that engages high school students in active learning of Physics. We emphasize the association between the classroom and using computers as an enriching and enhancing resource in the teaching and learning process. The GlowScript environment allows the development of multiple functions directly in the browser, using the Vpython module to easily create and manipulate three-dimensional figures/objects and plot function graphs and drawing curves. It is possible to create animations of physical phenomena based on the solution of the fundamental equations that govern the temporal evolution of the quantities that describe the system's behavior. We designed the code to allow the user to interact with the simulation, modifying the parameters and the initial conditions or even rewriting it.

Key-words: Meaningful Learning. Inquiry-Based Teaching. VPython.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Espectro eletromagnético da luz Fonte:(KATZ, 2016)	38
Figura 2 – Empinando pipa Fonte:< https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/272195 >	39
Figura 3 – Pingo d'água Fonte:< https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2024/011/ >	39
Figura 4 – Difração da onda do mar Fonte: < https://agenciabrasil.ebc.com.br >	40
Figura 5 – Difração e Interferência na onda do mar Fonte:< https://slideplayer.com.br/slide/359050/ >	41
Figura 10 – Pierre de Fermat Fonte: Wikipédia	44
Figura 6 – Ondas e Raios. Construídas no GlowScript	50
Figura 7 – Função senoide Fonte: o autor no GlowScript	51
Figura 8 – Fonte Luminosa Fonte: o autor no GlowScript	51
Figura 9 – Caminhos possíveis Fonte o autor	52
Figura 11 – Reflexão da luz numa superfície regular Fonte: o autor	52
Figura 12 – Trajetória do raio de luz numa superfície refletora Fonte(COURROL; PRETO, 2011) adaptada pelo autor	53
Figura 13 – Rio Capibaribe Fonte Marcos Michael / JC imagem	53
Figura 14 – Londrina-PR. Fonte < https://pin.it/YVMuOn7 >	53
Figura 15 – Superfície irregular (difusa) Fonte: o autor	54
Figura 16 – Plataforma GlowScript	54
Figura 17 – Início da simulação Fonte: o autor no GlowScript	55
Figura 18 – Ambiente da simulação Fonte: o autor no GlowScript	55
Figura 19 – Coleta de dados no Ambiente de simulação Fonte: o autor no GlowScript	56
Figura 20 – Reflexão: tempo em função do ponto de incidência	57
Figura 21 – Ângulos de incidência e reflexão em função do Ponto de incidência	58
Figura 22 – Propagação Retilínea da Luz fonte o autor no GlowScript	60
Figura 23 – Independência dos Raios, umbra e penumbra fonte o autor no GlowScript	61
Figura 24 – Reversibilidade dos Raios de Luz fonte o autor no GlowScript	61
Figura 25 – Formação da Imagem no Espelho plano fonte o autor no GlowScript	62
Figura 26 – Formação da Imagem no Espelho plano e o observador fonte o autor no GlowScript	63
Figura 27 – Formação da Imagem com a emissão de cinco emitidos do objeto no Espelho plano, os raios luminosos que entram nos nossos olhos parece provir de um ponto atrás do espelho. É nesse ponto que a imagem da seta é formada. fonte o autor no GlowScript	64
Figura 28 – Campo de Visão do Observador. fonte o autor no GlowScript	65
Figura 29 – Frente de Ondas com refração Fonte(HECHT, 2002), adaptada	67

Figura 30 – Teoria de Fermat sobre a refração Fonte: (FERMAT, 1894)	69
Figura 31 – Trajetória da luz entre dois meios Fonte: Autor	70
Figura 32 – Ambiente do GlowScript para a refração da luz Fonte: autor no GlowScript	71
Figura 33 – Refração: tempo x ponto de incidência	73
Figura 34 – Refração: Senos de Incidência e Refração em função do ponto de incidência	74
Figura 35 – Reflexão interna total fonte: o autor no GlowScript	75
Figura 36 – Fibra Óptica fonte: o autor no GlowScript	77
Figura 37 – Reflexão	85
Figura 38 – Reflexão	86
Figura 39 – Refração da luz Fonte: o autor no GlowScript	87
Figura 40 – Posição aparente do objeto: fonte: (A)fonte < https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg >, (B) o autor	88
Figura 41 – Trajetória do salva-vidas fonte: adaptação < https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg >	88
Figura 42 – Ativ. Refração fonte: o autor no GlowScript	89
Figura 43 – Planilha do Excel Fonte: o autor	91
Figura 44 – Alunos do 1ºA Trabalhando Fonte: o autor	93
Figura 45 – Apresentação do 1ºA Fonte: o autor	94
Figura 46 – Apresentação do 1ºA Fonte: o autor	95
Figura 47 – Atividade 02 para os 2ºA e 2ºB Fonte: o autor	97
Figura 48 – Ativ. 2ºA Fonte: o autor	98
Figura 49 – Reflexão	112
Figura 50 – Reflexão	113
Figura 51 – Propagação Retilínea da Luz fonte o autor no GlowScript	118
Figura 52 – Independência dos Raios, umbra e penumbra fonte o autor no GlowScript	119
Figura 53 – Reversibilidade dos Raios de Luz fonte o autor no GlowScript	120
Figura 54 – Formação da Imagem no Espelho plano fonte o autor no GlowScript	121
Figura 55 – Formação da Imagem no Espelho plano e o observador fonte o autor no GlowScript	121
Figura 56 – Formação da Imagem com a emissão de cinco raios de luz emitidos do objeto ao Espelho plano, os raios luminosos são captados pelos nossos olhos parece provir de um ponto atrás do espelho. É nesse ponto que a imagem da seta é formada. fonte o autor no GlowScript	122
Figura 57 – Campo de Visão do Observador. fonte o autor no GlowScript	123
Figura 58 – Refração da luz Fonte: o autor no GlowScript	124
Figura 59 – Posição aparente do objeto: fonte: (A)fonte < https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg >, (B) o autor	125

Figura 60 – Trajetória do salva-vidas fonte: adaptação < https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg > . . .	125
Figura 61 – Ativ. Refração fonte: o autor no GlowScrit	126
Figura 62 – Reflexão interna total fonte: o autor no GlowScrit	128
Figura 63 – Fibra Óptica fonte: o autor no GlowScrit	130
Figura 64 – Planilha do Excel Fonte: o autor	131
Figura 65 – Refração: Tempo em função do ponto de incidência Fonte: o autor . . .	133
Figura 66 – Refração: senos, de incidência e refração em função do ponto de incidência Fonte: o autor	134

Lista de tabelas

Tabela 1 – Coleta de dados da Simulação referente a Reflexão da Luz	48
Tabela 2 – Coleta de dados da simulação referente a refração da luz, para o meio incidente $n_1 = 1$ e o meio refratado $n_2 = 2$	72
Tabela 3 – Coleta de Dados Para a Simulação da lei da Reflexão	81
Tabela 4 – Determinação do índice de refração do material	90
Tabela 5 – Coleta de dados da simulação referente a refração da luz, para o meio incidente $n_1 = 1$ e o meio refratado $n_2 = 2$	92
Tabela 6 – Coleta de Dados Para a Simulação da lei da Reflexão	115
Tabela 7 – Determinação do índice de refração do material	127
Tabela 8 – Coleta de dados da simulação para a refração da luz, no meio incidente, de índice de refração $n_1 = 1$ e o meio refratado, com índice de refração $n_2 = 2$	132

Lista de abreviaturas e siglas

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
PNE	Plano Nacional de Educação
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
APS	Atividades por Simulação
TDIC	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

Sumário

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Objetivo Geral	29
1.2	Objetivo específicos	29
2	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	31
2.1	Organizadores Prévios	32
2.2	Ensino por Investigação	33
2.2.1	Ensino de Ciência por Investigação	33
2.2.1.1	Demonstrações Investigativas	34
2.2.1.2	Uso de Simulações no Ensino por Investigação	35
3	ÓPTICA GEOMÉTRICA	37
3.0.1	Ondas	38
3.0.1.1	A Reflexão	39
3.0.1.2	A Refração	40
3.0.1.3	A Difração	40
3.0.1.4	A Interferência	40
3.1	A Reflexão da Luz	41
3.1.0.1	Pierre de Fermat	42
3.1.1	O Princípio de Fermat	43
3.1.2	Uso de Simulações Investigativa	46
3.1.3	As Leis da Reflexão	59
3.1.4	Princípios da Óptica Geométrica	59
3.1.4.1	Princípio da Propagação Retilínea da luz	59
3.1.4.2	Independência dos raios de luz	59
3.1.4.3	Princípio da reversibilidade dos Raios de Luz	59
3.1.5	Formação da Imagem por reflexão	62
3.1.5.1	Formação da Imagem Ponto a Ponto	64
3.1.5.2	Campo de Visão de um espelho plano	65
3.2	Refração da Luz	66
3.2.1	Reflexão Interna Total	75
4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA	79
4.1	Reflexão da Luz	79
4.1.1	EXPERIMENTO TURMA 1A	79
4.1.2	Procedimentos	79

4.1.3	EXPERIMENTO TURMA 2C	82
4.1.4	Procedimentos	82
4.1.5	EXPERIMENTO TURMA 2B	83
4.1.6	Procedimentos	83
4.2	Texto de Apoio	85
4.3	Atividade de Física	
	Justificativa	85
4.4	Objetivos	85
4.5	Desenvolvimento	85
4.5.1	Reflexão da luz	85
4.6	Refração da Luz	87
4.6.1	Atividade 01	87
4.6.2	Atividade 02 (Refração da luz)	89
4.6.3	Princípio de Fermat para a Refração	91
4.6.4	Procedimentos	91
4.6.4.1	Construção do Gráfico	91
5	RESULTADOS	93
5.0.1	Aplicação do produto na disciplina Investigação Científica; 1º ano A	93
5.0.2	Aplicação do produto na disciplina Física; 2º anos A e B	96
5.0.2.1	Princípio de Fermat para a Refração	99
	Conclusão	101
	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICES	107
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	109
A.1	Sequência Didática	110
A.1.1	Reflexão da Luz	110
A.1.2	Texto de Apoio	112
A.1.2.1	Atividade de Física	
	Justificativa	112
A.1.2.2	Objetivos	112
A.1.2.3	Desenvolvimento	112
A.1.2.4	Reflexão da luz	112
A.1.2.5	Atividade:	113
A.1.3	Princípio de Fermat Para a Reflexão	114

A.1.3.1	Experimento da Turma 1A	114
A.1.3.1.1	Procedimentos	114
A.1.3.2	Experimento Turma 2C	116
A.1.3.2.1	Procedimentos	116
A.1.3.3	Experimento Turma 2B	117
A.1.3.4	Procedimentos	117
A.1.4	Princípios da Óptica Geométrica	118
A.1.4.1	Propagação Retilínea da luz	118
A.1.4.2	Independência dos Raios de Luz	119
A.1.4.3	Princípio da reversibilidade dos Raios de Luz	120
A.1.5	Formação da Imagem por reflexão	121
A.1.5.1	Formação da Imagem Ponto a Ponto	122
A.1.5.2	Campo de Visão de um espelho plano	123
A.1.6	Refração da Luz	124
A.1.6.1	Atividade 01	124
A.1.6.2	Atividade 02: Refração da luz	126
A.1.6.3	Reflexão Interna Total	128
A.1.6.4	Aplicações da Refração nas Comunicações (Fibra Óptica)	129
A.1.7	Princípio de Fermat para a Refração	131
A.1.7.1	Procedimentos	131
A.1.7.2	Construção do Gráfico	131

ANEXOS 135

.1	GlowScript na Plataforma WEB	138
.2	Simulação para o Princípio de Fermat	143
.2.1	Reflexão da Luz	143
.2.2	Refração da Luz	145

1 Introdução

O objetivo da aprendizagem escolar é formar cidadãos autônomos, críticos, reflexivos, incorporando valores socioculturais para compreender os fenômenos da natureza em conjunto com a sociedade, conectando-se ao seu semelhante e ao meio ambiente. Além disso, busca-se alfabetizar cientificamente o cidadão para o enfrentamento ao negacionismo da ciência. Segundo (MORIN, 2014), um dos maiores desafios para os educadores é criar formas de motivar os alunos para a aprendizagem. Nesse sentido, entendemos que o uso de ferramentas computacionais podem despertar o interesse nesse processo de ensino-aprendizagem. Acreditamos que a inserção das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) contribuem para uma aprendizagem significativa, pois aumenta a interatividade entre os estudantes.

A iniciativa do Governo Federal através do programas educacionais, o incentivo do uso de computadores nas escolas. Esta conquista tem permitido a inclusão de estudantes e professores no mundo das tecnologias da informação, dando-lhes condições essenciais para o desenvolvimento das habilidades para a educação do século XXI. Atualmente a maioria das escolas conta com notebooks e projetores.

Este contexto serviu de motivação para a proposta de desenvolver programas computacionais que fosse útil para ao processo de ensino aprendizagem do estudante, com animações e simulações em 3D, em um contexto didático, de modo a proporcionar uma experiência interativa e imersiva aos estudantes, potencializando o seu processo de aprendizagem e tornando os conceitos da Física mais compreensíveis.

Nesse sentido, no nosso estudo escolhemos trabalhar a Óptica Geométrica por ser um conteúdo normalmente ministrado de maneira estática, sem interação com o estudante. Na maioria dos casos, o ensino desse tema fica restrito ao formalismo dos diagramas de raios para descrever as propriedades da luz, como a reflexão, a refração e a formação de imagens. O máximo de interação prática geralmente se limita ao uso de um recipiente transparente com água e um lápis para demonstrar a refração da luz. O conhecimento da Óptica Geométrica é um *subsunçor* da Física Óptica, que permitiu o desenvolvimento em várias áreas do conhecimento, como na medicina oftálmica e na fabricação de diferentes tipos de lentes para tratamentos da visão, aplicando a refração. A Astronomia também é beneficiada com essas aplicações.

Escolhemos a plataforma do Google no ambiente GlowScript para hospedar nosso laboratório **virtual**, como uma alternativa para contornar as limitações de montar um laboratório físico. É importante ressaltar que, embora os laboratórios virtuais sejam uma solução viável e econômica em relação aos laboratórios físicos. Zacharia e Constantinou

(ZACHARIA; CONSTANTINOU, 2008), a partir de suas pesquisas, identificaram que a experimentação em um laboratório físico e em um virtual apresentam os mesmos resultados de compreensão conceitual no ensino de Física. Devemos ressaltar que a utilização do laboratório virtual para simulações em 3D tem um potencial de gerar uma aprendizagem mais significativa em comparação às aulas tradicionais, pois os estudantes podem interagir com a simulação de forma investigativa, como propõe (CARVALHO, 2013). A autora discute os benefícios didáticos da manipulação, pelos estudantes, dos parâmetros envolvidos na simulação. Uma vez que o modelo físico é parametrizado por um conjunto de grandezas, a relação de causa e efeito pode ser diretamente testada pelos estudantes. A observação do estudante em suas previsões, quando confirmadas por eventos subsequentes em uma simulação, e o entendimento de como esses eventos são causados podem levar a um entendimento conceitual do fenômeno abordado.

O GlowScript nos permite escrever códigos em uma linguagem de programação Python, associada à biblioteca VPython desenvolvida para animações e visualizações em 3D, diretamente no navegador, eliminando a necessidade de instalar o software em cada computador que deseje utilizá-lo. Isso pode ser particularmente útil em ambientes onde a instalação de software requer autorização de terceiros ou os recursos do computador são limitados. No Anexo A 5.0.2.1, mostramos as informações detalhadas para o acesso e interação no ambiente do GlowScript. É possível criar simulações interativas que permitem ao usuário modificar os parâmetros e condições de contorno do modelo para visualizar diferentes resultados de suas interações e entender como as mudanças nos parâmetros afetam o comportamento do sistema. Além disso, as simulações permitem ao estudante, através da visualização em 3D, internalizar conceitos abstratos dos fenômenos físicos. Com isso, o professor se torna um agente facilitador do processo de ensino-aprendizagem, permitindo que os estudantes explorem o conteúdo por conta própria e construam seu próprio conhecimento. As aulas de Física, assim, incentivam o pensamento crítico em contraposição à aprendizagem mecânica, onde a retenção se dá pela memorização de fórmulas sem contextualização. Nossa proposta se baseia na resolução de problemas com o uso da simulação como estratégia experimental, ilustrando os conceitos e teorias explanados nas aulas. Essas simulações computacionais potencializam a aprendizagem, pois o estudante passa mais tempo observando e interagindo com o fenômeno, apoiando-se em práticas investigativas e formulando hipóteses. Essa interatividade favorece uma reflexão sobre os conteúdos vivenciados, em particular a Óptica Geométrica.

Aqui mostramos uma visão geral da plataforma *glowscript*, que pode ser facilmente acessada através do link <<https://www.glowscript.org/#/user/GlowScriptDemos/folder/Examples/>>, onde há vários exemplos disponíveis.

Nossa intenção é mitigar algumas dificuldades na aprendizagem, especialmente no que diz respeito aos procedimentos e problemas quantitativos, conforme a perspectiva de

(POZO; CRESPO, 2009)

Muitas vezes, os alunos não conseguem adquirir as habilidades necessárias, seja para elaborar um gráfico a partir de alguns dados ou para observar corretamente através de um microscópio, mas outras vezes o problema é que eles sabem fazer as coisas, mas não entendem o que estão fazendo e, portanto, não conseguem explicá-las nem aplicá-las em novas situações. Esse é um deficit muito comum. Mesmo quando os professores acreditam que seus alunos aprenderam algo – e de fato comprovam esse aprendizado por meio de uma avaliação –, o que aprendido se dilui ou se torna difuso rapidamente quando se trata de aplicar esse conhecimento a um problema ou situação nova, ou assim que se pede ao aluno uma explicação sobre o que ele está fazendo.

- 1. Fraca generalização dos procedimentos adquiridos para outros contextos novos.*
- 2. O fraco significado do resultado obtido para os alunos.*
- 3. O fraco interesse que esses problemas despertam nos alunos, quando são utilizados de forma massiva e descontextualizada, diminuindo a motivação dos alunos para o aprendizado da ciência.*

1.1 Objetivo Geral

Descrever uma sequência de ensino aprendizagem de Óptica Geométrica baseada no uso de ferramentas computacionais para experimentos virtuais em 3D.

1.2 Objetivo específicos

- Desenvolver simulações computacionais tendo como foco o ensino de Óptica Geométrica, em particular, o princípio de Fermat;
- Elaborar sequência de ensino apoiadas em práticas investigativas e no uso de simulações computacionais;
- Explorar a sua adaptabilidade em sala de aula.

2 Aprendizagem Significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi proposta pelo psicólogo e médico David Ausubel na década de 1970. No Brasil, essa teoria cognitivista foi divulgada pelo professor e pesquisador Marco Antônio Moreira.

A teoria da aprendizagem de Ausubel ([AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980](#)) tem como premissa identificar nos aprendizes seus conhecimentos prévios, que servirão de âncora para a ampliação de novos conhecimentos, promovendo uma aprendizagem motivadora e eficaz. Esse processo ocorre quando uma nova informação é apresentada ao aprendiz e ele consegue conectar essa informação a uma estrutura cognitiva já existente. Se o aprendiz consegue fazer essa conexão e aplicar o novo conhecimento em diferentes contextos, a aprendizagem é considerada significativa. Caso não haja essa interação, a aprendizagem será mecânica. Na aprendizagem mecânica, o conhecimento é volátil e tende a desaparecer rapidamente da memória. Portanto, um desafio na sala de aula é reconhecer os conhecimentos prévios dos estudantes para dar continuidade ao novo conteúdo. Quando um novo conhecimento é adquirido, deve ser incorporado ao conhecimento já existente do indivíduo. Essa interação deve ser não-arbitrária, ou seja, deve estar relacionada a um conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do aprendiz ([\(MOREIRA, 2010\)](#)). Quando essa conexão ocorre, temos uma aprendizagem significativa.

No Brasil, a Teoria da Aprendizagem Significativa tem sido muito aplicada para melhorar a abordagem do ensino de Física, valorizando o ensino e a aprendizagem. Contudo, as dificuldades de aprendizagem em Física são comuns entre os alunos do ensino médio, especialmente quando comparadas às disciplinas de humanas (geografia, história, entre outras). Uma das razões para essa dificuldade, segundo ([MEDEIROS; MEDEIROS, 2002](#)), é que a Física lida com vários conceitos caracterizados por um alto grau de abstração, fazendo com que a Matemática seja uma ferramenta essencial no desenvolvimento da Física. Moreira ([\(MOREIRA, 2021\)](#)) destaca essas dificuldades no ensino de Física e sugere como forma de minimizá-la um ensino com ênfase aos conceitos físicos em detrimento do formalismo matemático e promover um ensino voltado para situações que façam sentido para o estudante. Essas propostas devem ser apresentadas em níveis crescentes de complexidade e abstração.

Outro aspecto importante é a formação dos docentes para o uso de novas tecnologias que mobilizem recursos didáticos e estimulem uma aprendizagem mais eficiente. De acordo com a teoria de ([VYGOTSKI, 1989](#)), a aprendizagem ocorre em um ambiente social e é influenciada pela cultura e pela linguagem. Os estudantes aprendem melhor quando são apoiados por outros estudantes; o trabalho em duplas geralmente traz bons resultados.

Devemos estar sempre atentos à dinâmica da sala de aula, desenvolvendo a sensibilidade e as habilidades necessárias para reconhecer as necessidades da turma. Isso nos permite propor práticas mais interativas, que reduzam o distanciamento do conteúdo vivenciado durante uma abordagem dialética, em favor de uma abordagem por descoberta, de modo que o conhecimento possa ser significativamente incorporado à estrutura cognitiva dos alunos. Segundo (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), grande parte da aprendizagem acadêmica é adquirida por recepção, enquanto que os problemas cotidianos são solucionados através da aprendizagem por descoberta. Na concepção de Ausubel, a aprendizagem tem maior significado quando é ancorada em conhecimentos que o estudante já tenha adquirido.

É muito comum entre os jovens o interesse pelos recursos tecnológicos, e por isso, eles são frequentemente chamados de "nativos digitais". Podemos usar essa afinidade como ferramenta educacional, trabalhando atividades experimentais através de simulações computacionais. Essas atividades permitem analisar a evolução do experimento e confrontar o conhecimento adquirido de forma receptiva para promover uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999), em contraste com a aprendizagem mecânica, onde novos conceitos ou informações fornecidas ao estudante não encontram associação com os conceitos já existentes (*subsunçores*). De acordo com (VALENTE, 1995), os computadores devem estar inseridos em ambientes de aprendizagem que possibilitem a construção de conceitos e o desenvolvimento de habilidades necessárias para a sociedade atual.

Nessa perspectiva, o professor deve agir como mediador do processo de ensino-aprendizagem, utilizando animações computacionais. De acordo com (FILHO, 2001), animação consiste em empregar técnicas matemáticas em computadores com o propósito de imitar um processo ou uma operação do mundo real, criando imagens em 3D em movimento com técnicas computacionais. Já na simulação, o aprendiz pode realizar interações e modificar parâmetros e condições de contorno através do input inserido pelo estudante. (GADDIS, 2000), citado por (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002), afirma que simulações "englobam uma vasta classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual

2.1 Organizadores Prévios

Segundo Ausubel (2002), novos conceitos são incorporados mais facilmente à estrutura cognitiva do aprendiz quando ligados a uma estrutura cognitiva pre-existente (*subsunçores*). Os conhecimentos prévios que o aprendiz carrega consigo podem ser decisivos para ancorar os novos. Entretanto, quando o aprendiz não possui essa estrutura, é necessária uma intervenção nesse processo, chamada de Organizadores Prévios (OP). Um organizador prévio é uma estratégia proposta por Ausubel com a finalidade de estabelecer uma ligação entre o que o aprendiz já sabe e aquilo que precisa aprender. Este organizador deve ter

uma relação direta com o novo conhecimento, fornecendo uma ideia mais abstrata, geral e inclusiva, para que o novo conhecimento seja aprendido de modo significativo. (AZEVEDO, 2010) propõe a leitura de artigos científicos e uma oficina pedagógica como organizadores prévios sobre o eletromagnetismo e magnetismo. (RIBEIRO; SILVA; KOSCIANSKI, 2012) apresenta a construção de um curta de animação como organizador prévio para o estudo de Momento de uma Força.

2.2 Ensino por Investigação

O filósofo estadunidense John Dewey (1859-1952) já apresentava em suas obras a preocupação com o ensino pronto e acabado, sem reflexão. Podemos dizer que Dewey foi o precursor do ensino por investigação. No Brasil, suas ideias influenciaram o movimento da Escola Nova, liderado por Anísio Teixeira. No livro "Logic: The Theory of Inquiry", Dewey enfatiza o pensamento indutivo e a lógica matemática, numa perspectiva de pensamento reflexivo e investigativo. Sua filosofia se comunica com as ideias de Ausubel e Freire ao sugerir que o aluno deve adquirir suas próprias certezas e conhecimentos através de um processo investigativo.

As ideias originais de Dewey influenciaram novas propostas para o ensino por investigação.

2.2.1 Ensino de Ciência por Investigação

O Ensino por Investigação tem como base a problematização que, por sua vez, é desenvolvida a partir de questões ou situações-problema com a intenção de levantar hipóteses dos alunos. Ana Maria Pessoa de Carvalho, Lúcia Helena Sasseron e Daniela Lopes Scarpa são as autoras principais a discutirem essa abordagem. Por meio dela, o professor identifica o que os alunos já sabem sobre o conteúdo e organiza as próximas etapas. Essas questões ou situações podem surgir dos próprios alunos, durante o dia a dia da sala de aula, ou serem motivadas pelo professor. Nesse último caso, é importante não só que haja clareza quanto ao objetivo a ser atingido, mas também que as questões tenham sentido para os alunos, estejam de acordo com seu nível de desenvolvimento cognitivo e possibilitem a geração de várias respostas apropriadas, não convergentes e diretivas. Dessa forma, elas instigam a descoberta e permitem o encaminhamento das respostas através das atividades investigativas.

É necessário que as questões constituam de fato um problema para as crianças, motivando, desafiando, despertando o interesse e gerando discussões. Os alunos procuram responder às questões colocadas, elaborando suas hipóteses sobre o assunto e verificam essas hipóteses com os procedimentos indicados em cada atividade. É importante lembrar que, embora a problematização seja a etapa mais propícia para a formulação de perguntas e

hipóteses, outras questões podem ser suscitadas durante o desenvolvimento das atividades das demais etapas, tanto pelos alunos, que demonstram novos interesses e levantam questionamentos visando futuros experimentos e descobertas, quanto pelo professor, no intuito de encaminhar novas discussões.

Segundo (CARVALHO; SASSERON, 2015), ensinar Física envolve mais do que desafiar as ideias prévias dos estudantes e substituí-las por teorias mais consistentes do ponto de vista científico.

Algumas pesquisas apontam concepções inadequadas de estudantes e mesmo professores sobre a natureza da ciência. Por exemplo, (LEDERMAN, 1992) menciona a compreensão do conhecimento científico como verdade absoluta e a falta de entendimento sobre "fato", "evidência", "observações" e "experimentações". Nesse sentido, enfatizamos que uma abordagem pedagógica para o Ensino de Ciência por Investigação contribui para a compreensão e reflexão sobre o processo de produção do conhecimento científico, permitindo que o estudante desenvolva atividades investigativas, colete dados e chegue às suas próprias conclusões.

Em sala de aula, o professor deve potencializar o trabalho em grupos, permitindo que os alunos elaborem estratégias para verificar as hipóteses levantadas durante a etapa de problematização, apresentando-as aos demais e discutindo-as coletivamente, gerando possíveis revisões. A verificação é realizada por diversas atividades propostas pelos alunos, dentre elas: experimentação, saídas a campo, observação de fenômenos, pesquisa em livros e internet, entrevistas etc., postas em prática com a orientação do professor. As pesquisas em livros e na internet não devem ser utilizadas como fonte de respostas, mas como meio de levantamento de dados que ajudem na verificação das hipóteses. As atividades motivam os alunos e tornam as aulas mais agradáveis, mas não podemos esquecer sua função primordial: resolver uma situação-problema, ultrapassando a simples manipulação de materiais.

É preciso lembrar que a atividade não se encerra com a realização das investigações; é importante que o aluno reflita e seja capaz de relatar o que fez, tomando consciência de suas ações e propondo causas para os fenômenos observados. Nesse sentido, o professor conduz a discussão visando reunir as diversas opiniões, comparar os resultados dos diferentes grupos e das diferentes fontes de pesquisa às hipóteses iniciais e elaborar uma conclusão sobre o assunto. Deve-se manter atento para que, a partir da discussão sobre as divergências, do confronto de diferentes pontos de vista e/ou de novas questões que surjam, os alunos ampliem seu conhecimento.

2.2.1.1 Demonstrações Investigativas

No processo de investigação, podemos fazer uso de experimentos com a finalidade de ilustrar um fenômeno na exposição de um conteúdo. Nessas demonstrações, podemos

envolver um enfoque epistemológico. Como dizem (MOREIRA; LEVANDOWSKI, 1983) e (AZEVEDO, 2006), um experimento é a procura de uma resposta (resultado) para uma pergunta que se está investigando. O professor tem um papel crucial nesse processo investigativo, propondo perguntas relativas ao conteúdo em análise, com a intenção de que os alunos construam hipóteses sobre a atividade experimental. Nesse sentido, espera-se uma mudança da postura tradicional para uma postura investigativa, passando a atuar como agentes ativos no processo, desvinculados da postura tradicional, na qual apenas observam.

A experimentação só cumprirá a função investigativa quando acompanhada de uma problematização que envolva a participação dos estudantes com seus pares, dialogando para encontrar uma solução para o problema proposto (CARVALHO et al., 2014).

2.2.1.2 Uso de Simulações no Ensino por Investigação

O docente fornece aos estudantes um problema *hands-on* para ser investigado. O docente fornece os procedimentos e materiais necessários, mas deliberadamente não informa os *resultados esperados*. Objetivo é que os estudantes descubram relações entre variáveis por conta própria ou, alternativamente, generalizem a partir dos dados que coletarem. Esta abordagem é comparada a atividades conhecidas como "livro de receitas", embora uma atividade de "receita" tradicionalmente inclua um maior grau de direcionamento em comparação com uma atividade investigativa estruturada ((COLBURN, 2000), p. 42)

assim como os procedimentos e materiais, mas não lhes informa os *resultados esperados*. Os estudantes devem descobrir relações entre variáveis ou, do contrário, generalizar a partir dos dados coletados. Esses tipos de investigações são similares ao que é conhecido como *livro de receitas*, apesar de uma atividade de *receita* geralmente incluir maior direcionamento do que uma atividade investigativa estruturada ((COLBURN, 2000), p. 42).

3 ÓPTICA GEOMÉTRICA

A Física estuda os fenômenos naturais da matéria, buscando estabelecer relações de causa e efeito entre eles. Entretanto, os fenômenos naturais são, na maioria das vezes, complexos e variados, o que dificulta sua compreensão direta. Uma maneira de mitigar essa complexidade é usar modelos simplificados, que são aproximações da realidade e, portanto, têm suas limitações.

A luz é um fenômeno que fascina os humanos ao longo da história. Ela é a condição necessária para que possamos ver tudo que está ao nosso redor. Em Gênesis 1:3, está escrito: "E disse Deus: Haja luz, e houve luz". Nos dias atuais, definimos a luz como uma parte do espectro eletromagnético que pode ser captada pelo olho humano. A figura 1 mostra a região na qual a luz é visível.

O estudo da luz e de sua natureza é tratado na Física Óptica, que examina seu comportamento sob duas teorias: a corpuscular de Newton e a ondulatória de Huygens. Para descrever essa dualidade, foi necessário um tratamento matemático especial a partir das equações de Maxwell (ALMEIDA; CRUZ; SOAVE, 2007). Essas equações permitem determinar a velocidade da luz no vácuo em termos da permeabilidade magnética (μ_0) e da permissividade elétrica (ϵ_0).

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = c \quad (3.1)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A} \quad (3.2)$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \quad (3.3)$$

Para compreender o comportamento da luz, um dos modelos sugere que a luz é constituída de partículas que se deslocam e se chocam contra obstáculos; outro modelo propõe que a luz é uma onda eletromagnética que se propaga no espaço. Portanto, os físicos geralmente refinam e aprimoram esses modelos à medida que novos dados experimentais são coletados e novas teorias são desenvolvidas.

Até atingirmos a compreensão da luz como uma onda eletromagnética, um longo caminho foi percorrido. Herão de Alexandria, que viveu entre 150 a.C. e 250 d.C., tentou explicar o fenômeno da reflexão da luz propondo que ela percorria sempre o caminho mais curto entre dois pontos em um meio homogêneo. Em 1000 d.C., Ibn Al-Haytham (conhecido pela forma latinizada Alhazen) aperfeiçoou a lei da reflexão, estabelecendo que as direções de incidência e de reflexão se encontram no mesmo plano normal à superfície,

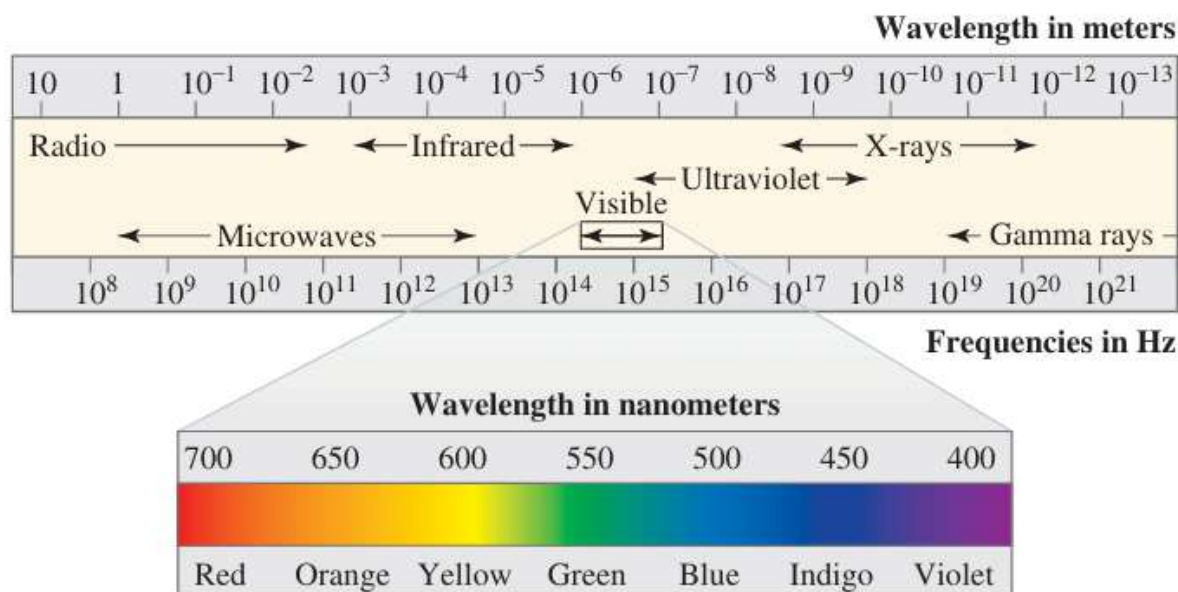


Figura 1 – Espectro eletromagnético da luz

Fonte: (KATZ, 2016)

estudou espelhos esféricos e parabólicos, e fez uma descrição detalhada do olho humano. Ele demonstrou que a luz se propagava em linha reta, realizando experimentos com lentes e espelhos.

Willebrord Snell, em 1621, demonstrou experimentalmente que a razão entre os senos dos ângulos de incidência e refração era constante. René Descartes (1596-1650), em 1637, enunciou a lei da refração em termos dos meios e os senos de incidência e refração. O holandês Christiaan Huygens (1629-1695) foi o precursor da teoria ondulatória da luz (1690). Isaac Newton (1642-1727) descreveu a dispersão da luz branca ao atravessar um prisma (NEWTON, 2002). O físico inglês Thomas Young (1773-1829) mostrou experimentalmente a interferência da luz, analisando o comprimento de onda da luz. Augustin J. Fresnel (1788-1827) retomou a teoria ondulatória, demonstrando os efeitos da difração e interferência, fenômenos tipicamente ondulatórios para a luz. Dominique Arago (1786-1853) mostrou a polarização da luz. Em meados de 1873, James C. Maxwell (1831-1879) demonstrou matematicamente que a luz é uma onda eletromagnética.

3.0.1 Ondas

No capítulo 2 do livro (GASPAR, 2012), faz uma introdução a ondas:

As pipas são comandadas à distância por meio dos fios.[...]sabem que os pulso que eles comunicam à linha aqui embaixo se propagam e comandam os movimentos da pipa lá em cima.

A figura (2) retrata bem a descrição de Gaspar. A figura (3) registra a queda de um pingo d'água, demonstrando que o pulso provoca uma perturbação do meio.

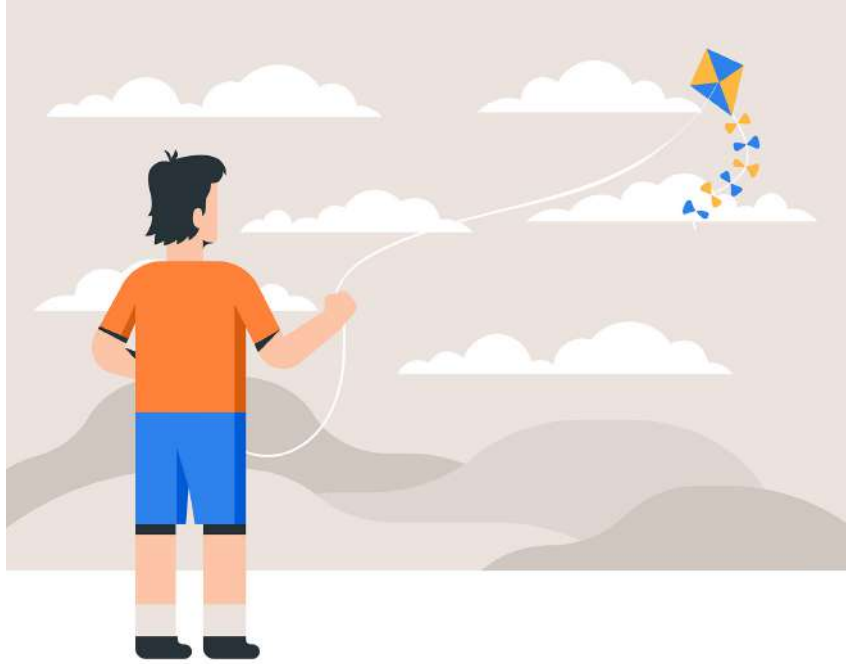


Figura 2 – Empinando pipa

Fonte: <<https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/272195>>



Figura 3 – Pingo d'água

Fonte: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2024/011/>>

Neste parágrafo, vamos resgatar os principais fenômenos de uma onda, entres eles podemos destacar: a reflexão, a refração, a difração e a interferência.

3.0.1.1 A Reflexão

Quando uma frente de onda, como mostrados nas figuras (6a) e (6b) se choca com uma superfície, ela retorna ao mesmo meio de onde veio. Por exemplo, a onda ao se chocar com um arrecife ou conforme ilustrado na figura (11).

3.0.1.2 A Refração

Na refração, quando a frente de onda se choca com uma superfície, a frente é transmitida para outro meio, como mostrado na figura(29) Outro exemplo de refração é a simulação feita pelo professor (CHABAY; SHERWOOD, 2018), que podemos acessar pelo link <<https://l1nq.com/frentedeondasREFRACAO>>.

Percebemos tanto na figura 29 quanto na simulação que a frente de onda muda de direção ao passar para outro meio.

3.0.1.3 A Difração

Quando uma frente de onda encontra um obstáculo ou passa por fendas, ela tenta contorná-los. Este fenômeno é conhecido como difração, como mostrado na figura (4).

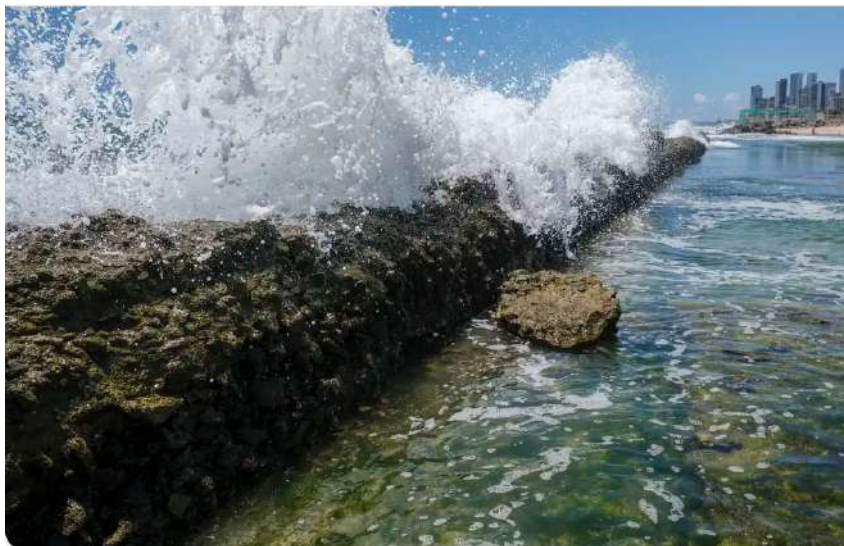


Figura 4 – Difração da onda do mar

Fonte: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br>>

3.0.1.4 A Interferência

O fenômeno da interferência ocorre quando duas ou mais ondas se combinam. Pode haver uma interferência construtiva, quando suas amplitudes (A) estão na mesma fase, ou uma interferência destrutiva, quando há uma diferença de fase. A figura 5 mostra os dois fenômenos, a difração e a interferência, na água do mar.

Na figura (7), vamos apresentar a propagação de uma onda graficamente por uma curva senoidal, com uma vista lateral das figuras 6a e 6b

Com relação à figura (7), chamamos atenção para algumas características fundamentais da onda, tais como o comprimento de onda (λ) e a amplitude (A), que representam a quantidade de energia que a onda transporta.



Figura 5 – Difração e Interferência na onda do mar

Fonte: <<https://slideplayer.com.br/slide/359050/>>

Nossa proposta para o ensino da Óptica Geométrica está em conformidade com o currículo de Pernambuco e atende à BNCC. Fazemos um recorte para o estudo da Óptica Geométrica, em particular a reflexão e a refração. Usaremos como referencial teórico o **Princípio de Fermat** aplicado na reflexão e refração da luz.

O estudo da Óptica Geométrica tem como objeto central o *raio de luz*. E o que significa o raio de luz? O raio de luz é uma representação geométrica da trajetória da luz, indicando sua direção e sentido por meio de um segmento de reta. A orientação do segmento é no sentido da propagação da luz ao longo de um caminho. A descrição do raio é adequada quando os comprimentos de onda envolvidos são muito pequenos em comparação com as dimensões dos objetos. Numa descrição ondulatória, o raio de luz é traçado perpendicularmente às frentes de onda, como mostrado na figura 6. Percebemos nas imagens que os raios percorrem em linha reta, tanto em ondas circulares como planas. A Óptica Geométrica não consegue representar os fenômenos de difração e interferência, já que estes dependem do frequência (ou comprimento de onda λ) da onda.

3.1 A Reflexão da Luz

Uma das coisas fundamentais para a restauração de nosso corpo e cérebro é dormir bem. Um dos elementos importantes para isso é um ambiente escuro, com janelas equipadas com cortinas *blackout*. Ao abrirmos os olhos em um ambiente totalmente escuro, não veremos nenhum objeto ao nosso redor. Nossa primeira atitude é ligar a lâmpada para iluminar o ambiente. Nesse momento, podemos ver todos os objetos. A luz emitida pela lâmpada, conforme mostrado na figura 8, se propaga em todas as direções e, ao atingir os objetos, reflete na direção de nossos olhos. Podemos também dizer que a lâmpada tem luz própria, sendo assim um corpo "luminoso", enquanto os objetos são "iluminados", pois não têm luz própria.

No entanto, vamos focar em uma situação particular em que a luz é refletida em

uma direção, como um raio laser incidindo em um espelho plano. Podemos definir esse fenômeno como a reflexão da luz.

Para dar embasamento a essa proposta, vamos definir alguns conceitos básicos. Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície plana, regular e bem polida, como um espelho, o feixe de luz retorna ao mesmo ambiente de forma ordenada, conforme ilustrado na figura 11. Esse fenômeno é observado comumente no nosso cotidiano: vemos nossas imagens em espelhos planos e esféricos, nos pedais de bicicletas que usam materiais com propriedades reflexivas para aumentar a visibilidade do ciclista, especialmente à noite, em discos rígidos de HDs ou qualquer superfície com alto nível de polimento.

Atualmente, fala-se muito na internet de fibra óptica, uma aplicação importantíssima da reflexão (interna) da luz. Nesse caso, a luz fica aprisionada em um condutor de vidro de sílica de alta pureza (SiO_2) ou fibras ópticas de plásticos (POF) (RIBEIRO et al., 2002).

3.1.0.1 Pierre de Fermat

Pierre de Fermat nasceu em Beaumont-de-Lomagne, na Gasconha, filho de comerciantes de couro. Recebeu educação elementar em casa e em uma escola franciscana local. Em 1631, obteve seu bacharelado em direito pela Universidade de Orléans. Trabalhou como advogado no parlamento de Toulouse e tornou-se Conselheiro em 1634. Casou-se com Louise du Long, adotando o prefixo "de" ao seu sobrenome. Fermat era conhecido por sua erudição em humanidades, conhecimento de grego e latim, domínio de línguas europeias modernas e pesquisa em matemática. Em 1648, foi nomeado Conselheiro do Rei em Toulouse.

Entre julho e outubro de 1654, Fermat trocou correspondências com Blaise Pascal, estabelecendo as bases para a teoria da probabilidade. Eles discutiram o "Problema dos Pontos," sobre a divisão equitativa das apostas em jogos interrompidos. Pascal e Fermat apresentaram diferentes soluções para problemas de probabilidade, contribuindo significativamente para o desenvolvimento dessa área matemática. Fonte (SENETA, 2001).

O Último Teorema de Fermat, enunciado por Pierre de Fermat em 1637, afirma que não existem três números inteiros positivos a, b, c que satisfaçam a equação $a^n + b^n = c^n$ para qualquer inteiro n maior que 2. Fermat escreveu essa conjectura à margem de um livro, mencionando que tinha uma "demonstração verdadeiramente maravilhosa" para a proposição, mas que a margem era pequena demais para contê-la. Ele nunca deixou uma prova dessa afirmação.

Por mais de 350 anos, o teorema desafiou matemáticos de todo o mundo, tornando-se um dos problemas não resolvidos mais famosos da matemática. Muitas tentativas foram feitas, mas todas se mostraram inadequadas até a década de 1990. Finalmente, em 1994, o matemático britânico Andrew Wiles, com a ajuda de Richard Taylor, publicou uma

prova correta do teorema. A solução de Wiles utilizou técnicas sofisticadas da teoria dos números e da geometria algébrica, especialmente o estudo das formas modulares e das curvas elípticas. A prova foi extremamente complexa e exigiu novas ideias matemáticas significativas.

A resolução do Último Teorema de Fermat por Wiles foi um marco na matemática moderna e lhe rendeu vários prêmios e reconhecimento internacional. Embora a prova não fosse o método que Fermat tinha em mente, ela demonstrou a profundidade e a complexidade da conjectura, além de mostrar o avanço das técnicas matemáticas ao longo dos séculos.

3.1.1 O Princípio de Fermat

Em 1657, Pierre de Fermat (1607-1665) encontrou um novo método para determinar a trajetória dos raios luminosos, baseado na sua ideia de que “a Natureza sempre atua pelo caminho mais curto”. O enunciado do Princípio de Fermat é: de todos os caminhos possíveis para ir de um ponto a outro, a luz segue aquele que é percorrido no menor tempo (NUSSENZVEIG, 2014).

Quando um raio de luz viaja entre dois pontos F e R , ele segue, de todos os caminhos possíveis de F a R , o caminho que requer o menor tempo.

Suponha que F e R sejam dois pontos, conforme mostrado na figura (9), em um meio homogêneo. A luz gasta um intervalo de tempo t para ir de F à R . Chamaremos de L o comprimento do percurso percorrido pela luz. Podemos calcular t dividindo o caminho C_{FR} , percorrido pela luz, em intervalos infinitesimais de comprimento $dL = vdt$, onde v é o módulo da velocidade da luz no meio. Logo,

$$dt = \frac{dL}{v}. \quad (3.4)$$

O tempo total gasto pela luz para ir de F à R ao longo do caminho C_{FR} é dado por

$$t = \int_{C_{FR}} \frac{dL}{v}. \quad (3.5)$$

Para um meio homogêneo, v é constante e, consequentemente, $t = L/v$. Isto implica que t será mínimo quando L o for. No plano, o menor caminho entre dois pontos é uma linha reta. Logo, a luz se propaga em linha reta em um meio homogêneo.

Os fenômenos de reflexão e refração ocorrem quando a luz encontra a interface entre dois meios com características distintas. Por exemplo, a velocidade de propagação da luz pode ser diferente em cada um dos meios. Ao encontrar a interface, parte da luz é refletida e parte é transmitida através da interface¹.

¹ Alguma energia pode ser absorvida pelo meio material (aquecimento), porém este fato é raramente abordado em tratamentos elementares

Pode-se inferir do argumento anterior, que a luz seguirá uma trajetória retilínea em cada um dos meios. Porém, o comprimento total do percurso percorrido pela luz será o menor possível. Como consequência, pode-se extrair as leis da reflexão e da refração a partir do princípio² de Fermat, como mostraremos mais adiante.

Quais são as condições naturais para que ocorra a reflexão da luz?

Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície plana, regular e bem polida, o feixe de luz retorna ao mesmo ambiente de forma ordenada.



Figura 10 – Pierre de Fermat
Fonte: Wikipédia

A equação 3.5 fornece uma maneira expressarmos matematicamente o Princípio de Fermat para o tempo mínimo. O intervalo de tempo t será mínimo quando a *variação* da 3.5 for nula, (ver, por exemplo: cap. 6, (THORNTON; MARION, 2011)). Nossa primeira proposta é mostrar que o Princípio de Fermat aplicado à reflexão, conforme ilustrado na figura (12).

Vamos isolar um raio de luz, mostrado na figura (12), e fazer uma análise qualitativa, de sua trajetória. Os ângulos observados na figura ϕ_i e ϕ_r , são medidos em relação a uma linha imaginária perpendicular ao plano da superfície refletora. Esta linha imaginária é chamada de *normal*, usamos a letra **N**, para representá-la.

De acordo com o Princípio de **Fermat**, a luz percorre o caminho mais curto entre a fonte e o receptor, passando por P (ponto de incidência), levando o menor tempo possível.

² Um princípio é uma generalização empírica que é aceita como verdade e que pode ser usado como base para o raciocínio, é uma afirmação acerca da relação entre quantidades naturais que foi testada repetidamente através de experimentos, sem nunca ter sido invalidado.

Na figura (12), o caminho do raio incidente, partindo da fonte até o ponto (P) na superfície, pode ser determinado pelo teorema de Pitágoras.

$$r_i = \sqrt{h_1^2 + x^2} \quad (3.6)$$

Em seguida o raio parte do ponto (P) refletido em direção ao alvo (receptor) o caminho será:

$$r_r = \sqrt{h_2^2 + (d - x)^2} \quad (3.7)$$

O tempo que o raio incidente e o raio refletido gastam para ir da fonte ao receptor é a soma dos tempos gastos para ir da fonte até a superfície (P) e da superfície (P) até o receptor (R); ou seja, $t = t_{FP} + t_{PR}$. Podemos definir o tempo como sendo a relação ente deslocamento e velocidade:

$$t_{FP} = \frac{r_i}{v} \quad (3.8)$$

onde r_i é a distância do ponto de incidência (P) à fonte e v é a velocidade da luz no meio. Similarmente, o tempo para percorrer a distância do ponto (P) ao receptor (R) pode ser expresso como:

$$t_{PR} = \frac{r_r}{v} \quad (3.9)$$

onde r_r é a distância do ponto (P) ao receptor (R). Portanto, o tempo total t é dado por:

$$t = t_{FP} + t_{PR} = \frac{r_i}{v} + \frac{r_r}{v} \quad (3.10)$$

Esse tempo total representa o caminho percorrido pelo raio de luz ao refletir da fonte ao receptor. chamamos de L o percurso total que a luz faz ao ser emitida da fonte (F) até o receptor (R). Assim, temos:

$$L = r_i + r_r \quad (3.11)$$

então teremos

$$L = (h_1^2 + x^2)^{\frac{1}{2}} + [h_2^2 + (d - x)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

o tempo gasto para que a luz se desloque da fonte até o receptor, isto é, a trajetória total, podemos definir como:

$$t = \frac{L}{v} \quad (3.13)$$

$$t = \frac{(h_1^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}}{v} + \frac{[h_2^2 + (d - x)^2]^{\frac{1}{2}}}{v} \quad (3.14)$$

Como o valor de t depende de x , o cálculo diferencial nos informa que, se houver um valor de x que seja mínimo o tempo, então podemos derivar o tempo em função x será igual a zero. Calculemos a derivada, de acordo com o princípio de Fermat.

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{v} \frac{dL}{dx} = 0 \quad (3.15)$$

$$\frac{dL}{dx} = \frac{1}{2}(h_1^2 + x^2)^{\frac{(-1)}{2}} 2x + \frac{1}{2}(h_2^2 + (d-x)^2)^{\frac{(-1)}{2}} (-2d + 2x) \quad (3.16)$$

$$0 = \frac{1}{v} \left[\frac{x}{(h_1^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{d-x}{(h_2^2 + (d-x)^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (3.17)$$

Igualando a derivada a zero, teremos:

$$\frac{x}{\sqrt{(h_1^2 + x^2)}} = \frac{d-x}{\sqrt{(h_2^2 + (d-x)^2)}} \quad (3.18)$$

Analisando a figura (12), vimos que o lado esquerdo dessa igualdade é exatamente o $\sin(\phi_i)$, e o lado direito é exatamente $\sin(\phi_r)$. Logo teremos:

$$\sin(\phi_i) = \sin(\phi_r) \quad (3.19)$$

Como consequência o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

$$\phi_i = \phi_r \quad (3.20)$$

A equação (3.20), obtida por meio da demonstração matemática baseada no Princípio de Fermat, utiliza a figura (12) como suporte geométrico. Concluimos que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, enunciando assim a **primeira lei da reflexão**. Quando a superfície é altamente polida, esse tipo de reflexão é chamado de **reflexão especular**.

As imagens das figuras 13 e 14 ilustram a fenomenologia da reflexão da luz em nosso cotidiano, um presente da natureza, como os espelhos d'água.

Vejamos o caso em que a superfície é irregular. Os raios de luz são refletidos de maneira desordenada; no entanto, cada raio ainda obedece à lei da reflexão, ou seja, o ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão. Isso é ilustrado na figura (15).

3.1.2 Uso de Simulações Investigativa

A simulação foi desenvolvida para demonstrar a aplicação do Princípio de **Fermat** na reflexão da luz. Segundo esse princípio, a trajetória seguida pela luz entre dois pontos é

aquela que leva o menor tempo possível. Para a reflexão, isso se traduz na lei da reflexão, que afirma que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Utilizaremos a plataforma GlowScript (16) para criar e hospedar o nosso laboratório virtual de Física, o *LabPhyvirtual*. Esta simulação permitirá uma visualização clara, interativa e investigativa do Princípio de Fermat aplicado à reflexão da luz. Esse ambiente virtual facilita o entendimento dos conceitos físicos envolvidos e oferece uma maneira envolvente de aprender por meio de experimentação e visualização direta, acessando o link <https://bit.ly/3ye9WAe>, figura (17).

A plataforma GlowScript foi desenvolvida principalmente pelo professor e físico Bruce Sherwood (MACLSAAC, 2013) da Universidade Estadual da Carolina do Norte, nos Estados Unidos.

Ao desenvolver a simulação, tivemos a preocupação de atender à proposta de validar o Princípio de Fermat para a reflexão (conforme ilustrado na figura 17) e à proposta de ensino por investigação (CARVALHO et al., 2014).

Desenvolvemos esta ilustração da figura 18 para representar a trajetória da luz partindo de uma fonte luminosa com coordenadas $(x=-1.5, y=2, z=0)$ m, incidindo numa superfície refletora (espelho plano) de comprimento 3 m no ponto de incidência, uma reta (imaginária) perpendicular a superfície a qual chamamos de *normal*, para definir os dois ângulos, de incidência e reflexão, o raio é refletido a atingir o alvo (receptor) de coordenadas $(1.5, 3, 0)$, observe que usamos ponto para representar o valor decimal, em vez da vírgula, isso é devido a recomendação dos textos em inglês usar o ponto como separador decimal, as sintaxe de programa obedece essa mesma orientação. A configuração executada na figura (19) serviu de suporte para o enunciado da segunda lei da reflexão de acordo com o princípio de Fermat.

O raio incidente, a normal e o raio refletido estão em um mesmo plano.

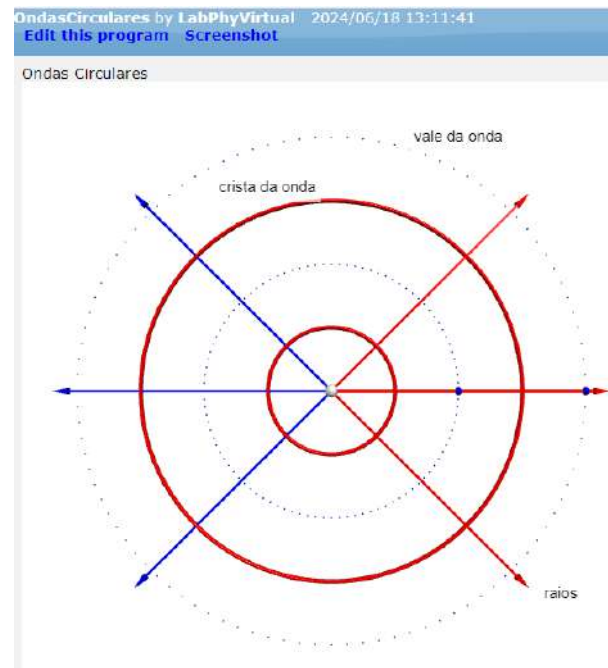
Os dados fornecidos pela simulação foram formatados em uma ficha tabelada e, em seguida, transferidos para uma planilha do Excel, conforme mostrado na tabela 1)

Ordem	Ângulo de Incidência (ϕ_i) (°)	Ângulo de Reflexão (ϕ_r) (°)	Posição (m)	Tempo (ns)
1	14.0362	39.8056	0.50	19.8889
2	16.6992	38.6598	0.60	19.7665
3	19.2900	37.4762	0.70	19.6639
4	21.8014	36.2538	0.80	19.5809
5	24.2277	34.992	0.90	19.5171
6	26.5651	33.6901	1.00	19.4721
7	28.8108	32.3474	1.10	19.4453
8	30.9638	30.9638	1.20	19.4365
9	33.0239	29.5388	1.30	19.4452
10	34.9920	28.0725	1.40	19.471
11	36.8699	26.5651	1.50	19.5137
12	38.6598	25.0169	1.60	19.5728
13	40.3645	23.4287	1.70	19.6481
14	41.9872	21.8014	1.80	19.7394
15	43.5312	20.1363	1.90	19.8464

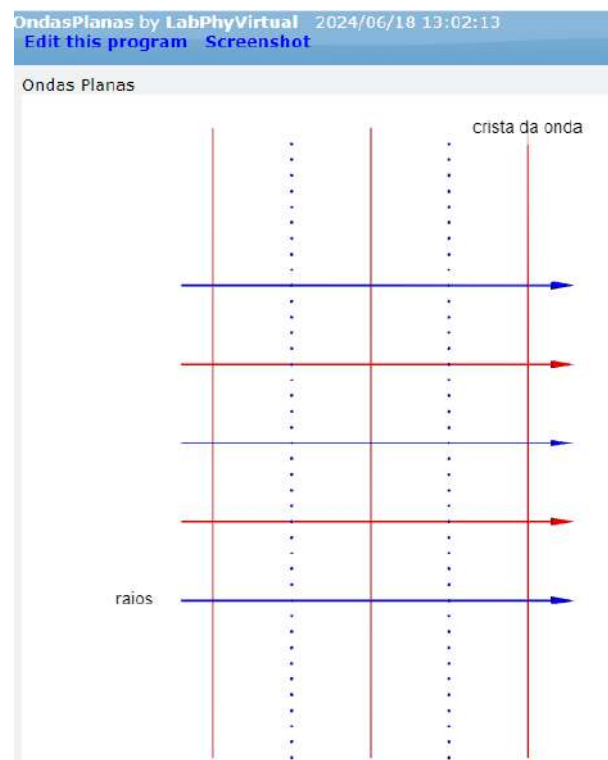
Tabela 1 – Coleta de dados da Simulação referente a Reflexão da Luz

Utilizamos uma planilha do Excel para inserir os dados e construir o gráfico do ponto de incidência em função do tempo, conforme mostrado na figura (20). Observamos que a curva apresentada assemelha-se a uma parábola com concavidade positiva, indicando que possui um vértice mínimo. A abscissa do vértice é 1,2 m, correspondente a uma ordenada de 19,4365 ns para o menor tempo, o que corrobora o Princípio de Fermat. A consequência desse experimento mostraremos no gráfico a seguir. A figura (21) apresenta um gráfico com a abscissa dos pontos de incidência em função dos ângulos de incidência e reflexão. A interseção entre as duas curvas ocorre na abscissa 1,2 e na ordenada 30,9638°. Com base nessa informação, conclui-se que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de

reflexão. Esses resultados, obtidos a partir do Princípio de Fermat, estão em concordância com a Lei de Snell-Descartes para a reflexão.



(a) Frente de Ondas Circulares
Fonte: o autor



(b) Frente de Ondas Planas.
Fonte: o autor no GlowScript.

Figura 6 – Ondas e Raios. Construídas no GlowScript

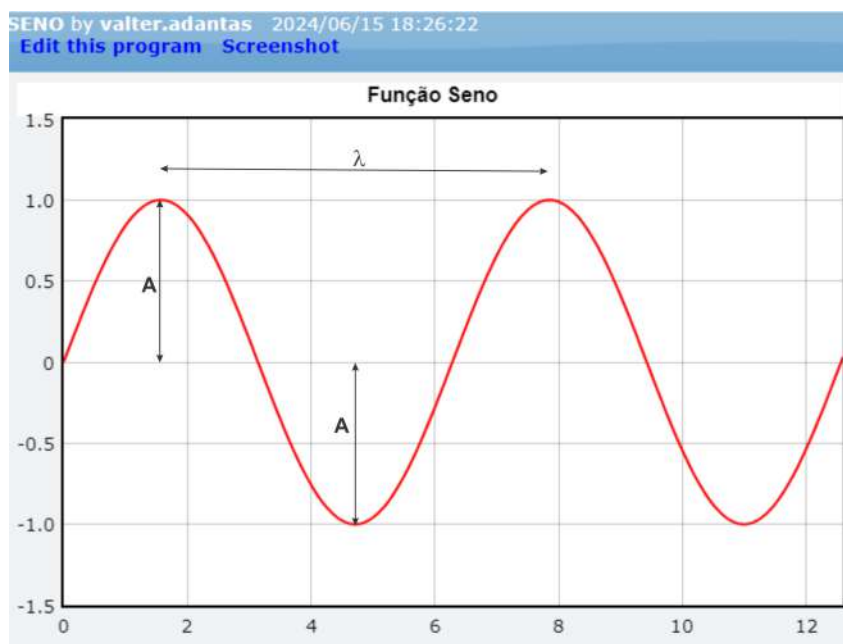


Figura 7 – Função senoide
Fonte: o autor no GlowScript

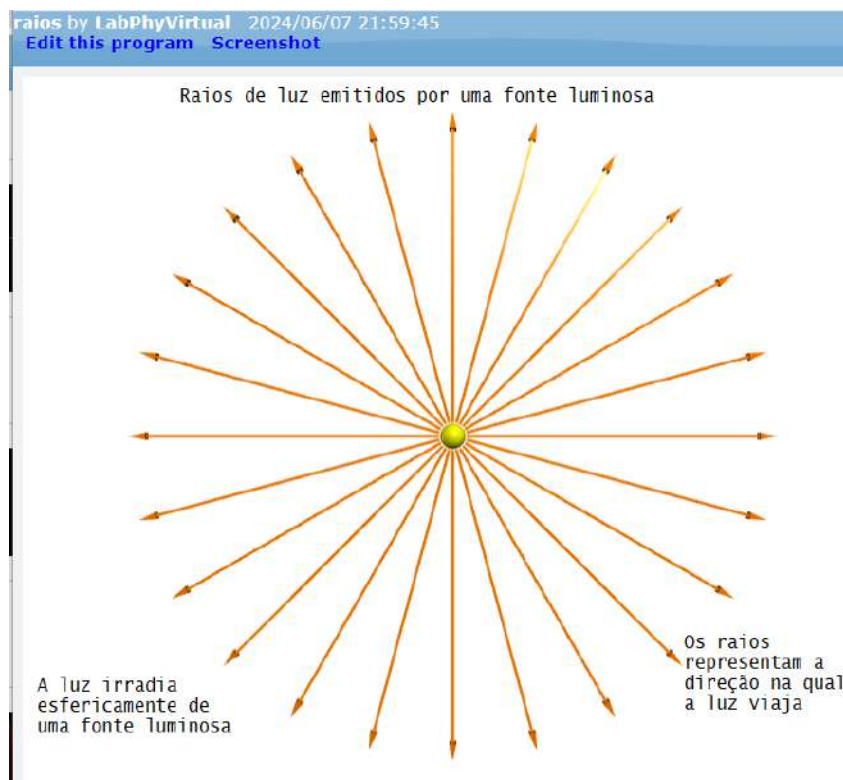


Figura 8 – Fonte Luminosa
Fonte: o autor no GlowScript

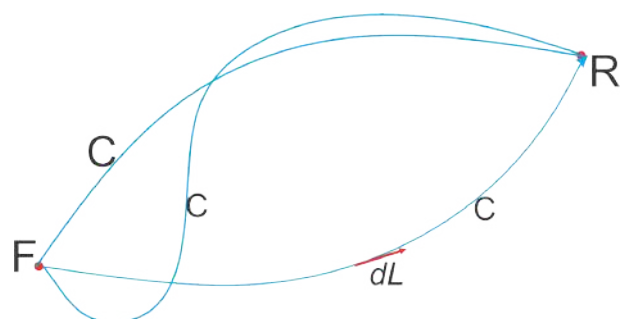


Figura 9 – Caminhos possíveis
Fonte o autor

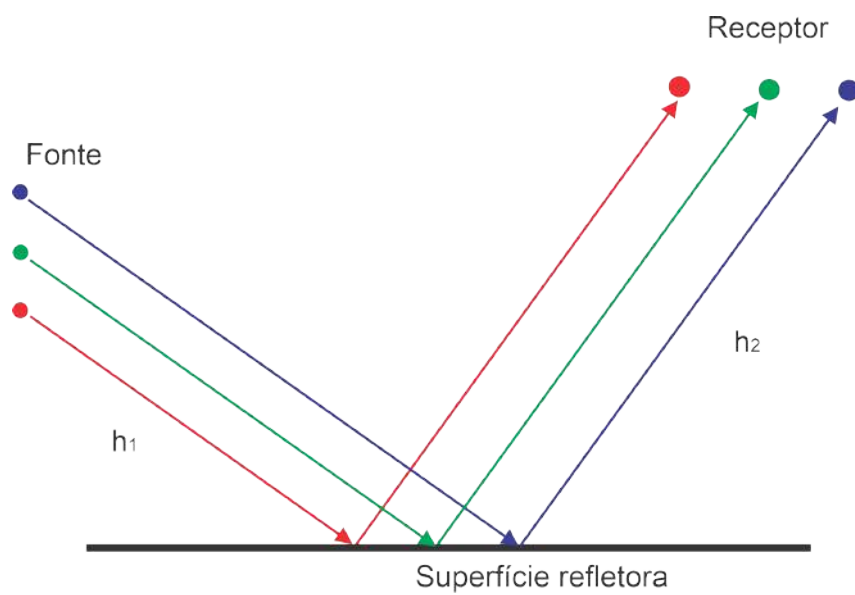


Figura 11 – Reflexão da luz numa superfície regular
Fonte: o autor

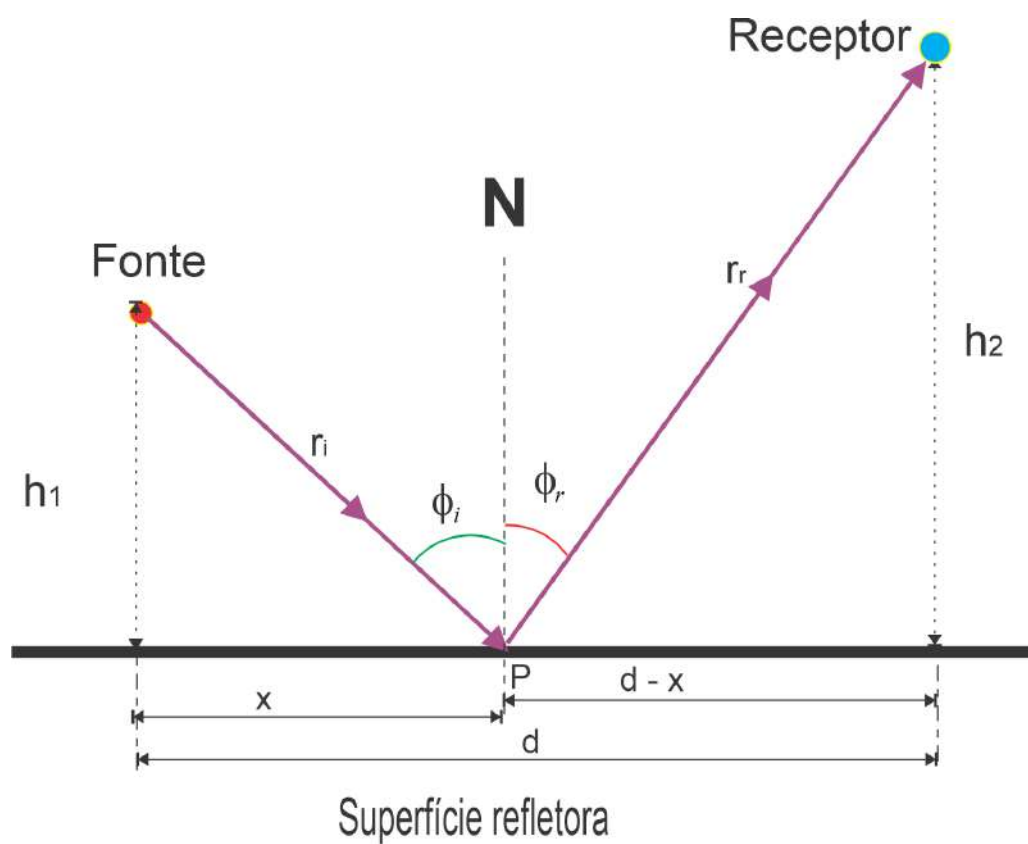


Figura 12 – Trajetória do raio de luz numa superfície refletora
 Fonte(COURROL; PRETO, 2011) adaptada pelo autor



Figura 13 – Rio Capibaribe
 Fonte Marcos Michael / JC imagem



Figura 14 – Londrina-PR.
 Fonte <https://pin.it/YVMuOn7>

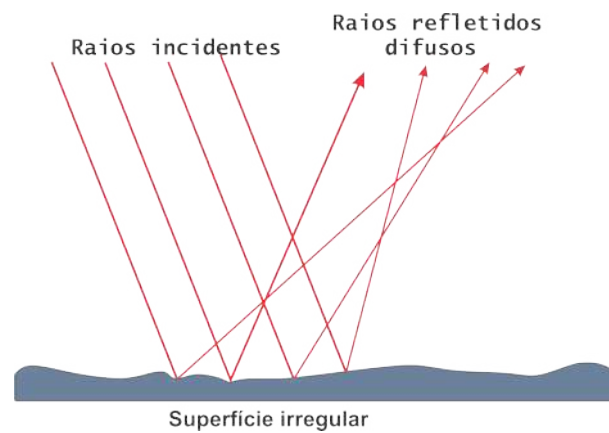


Figura 15 – Superfície irregular (difusa)
Fonte: o autor

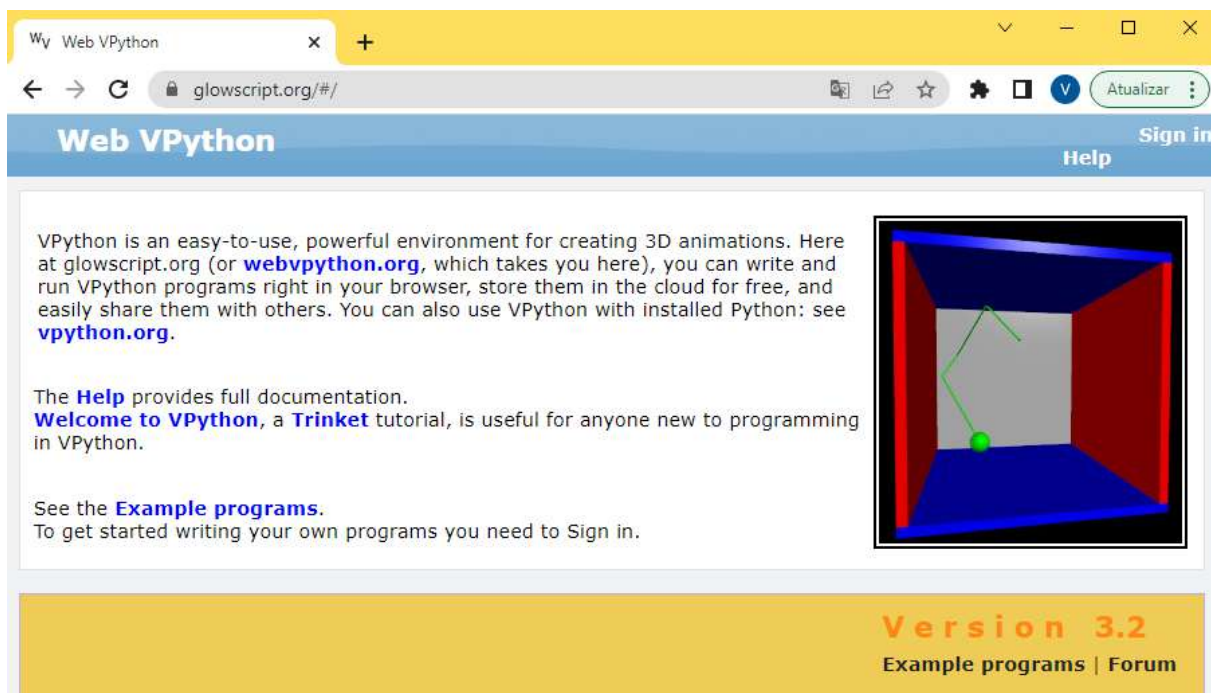


Figura 16 – Plataforma GlowScript

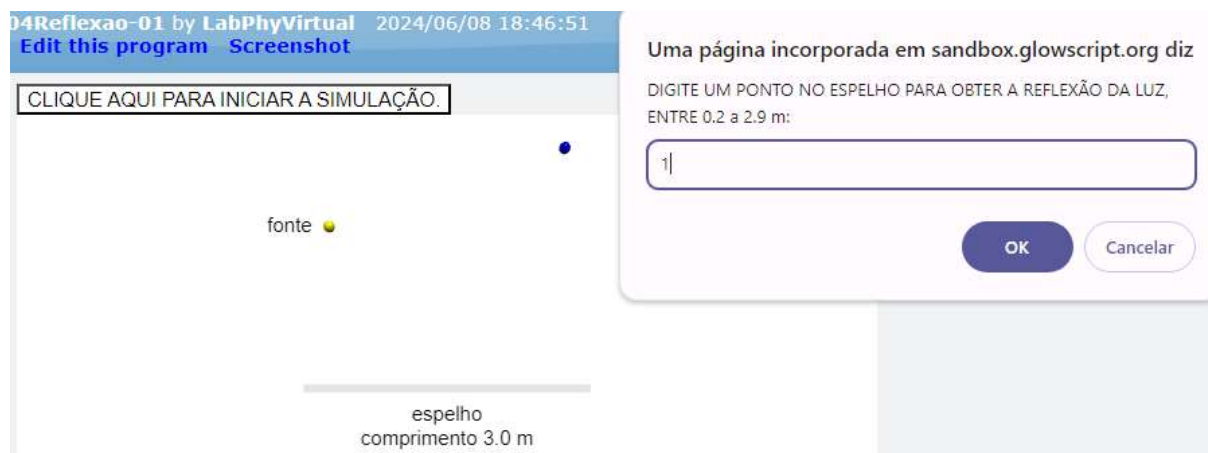


Figura 17 – Início da simulação
Fonte: o autor no GlowScript

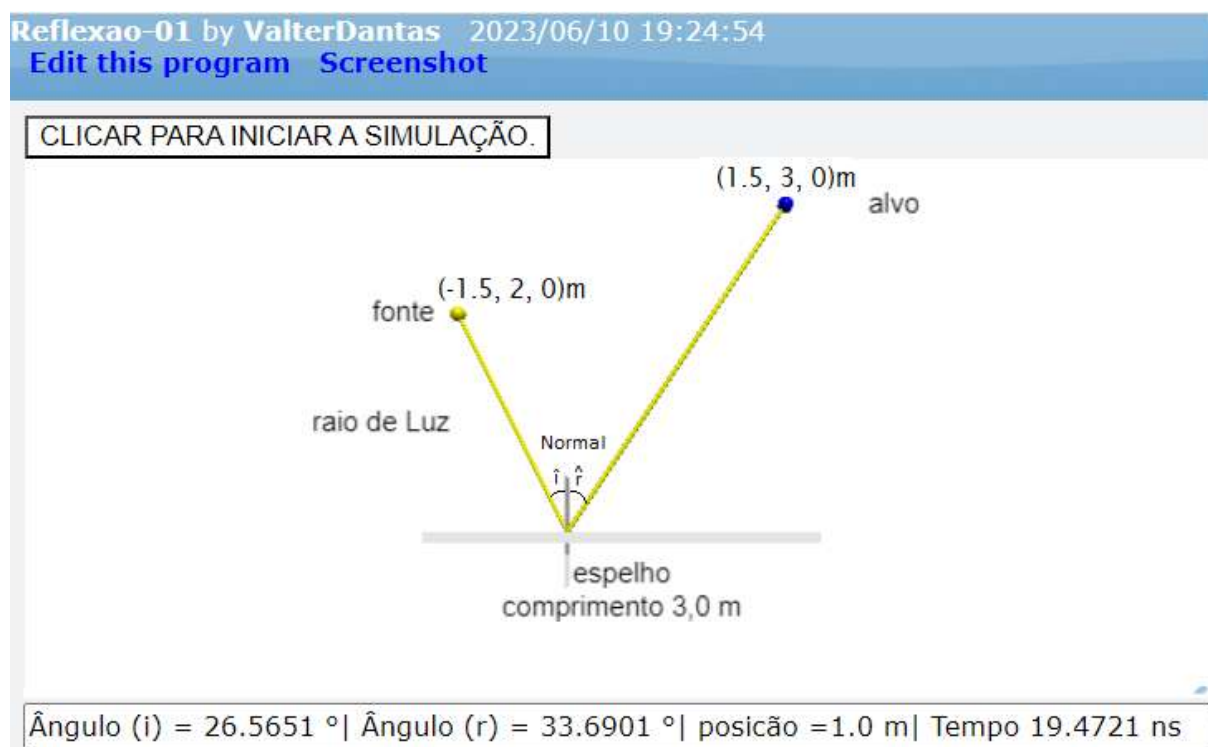


Figura 18 – Ambiente da simulação
Fonte: o autor no GlowScript

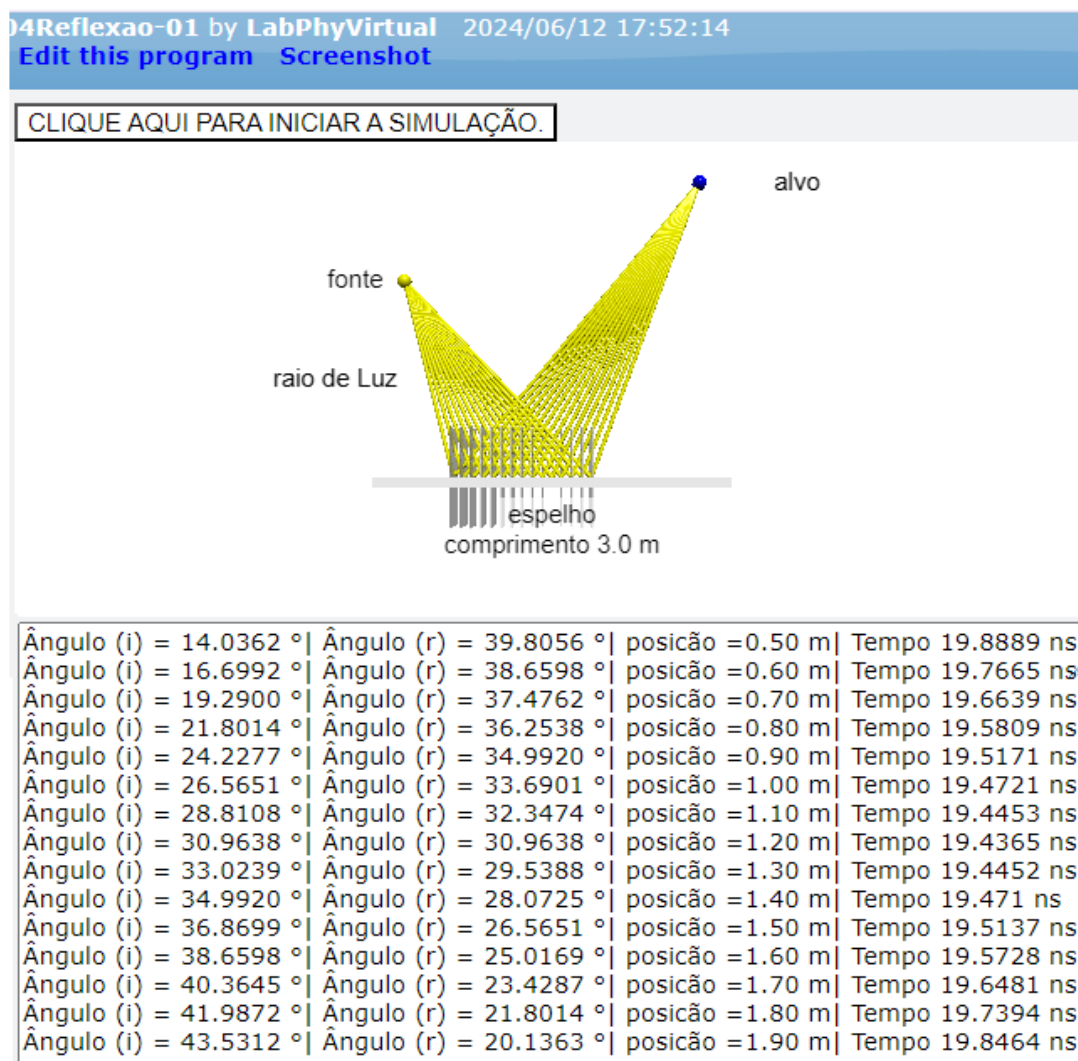


Figura 19 – Coleta de dados no Ambiente de simulação
 Fonte: o autor no GlowScript

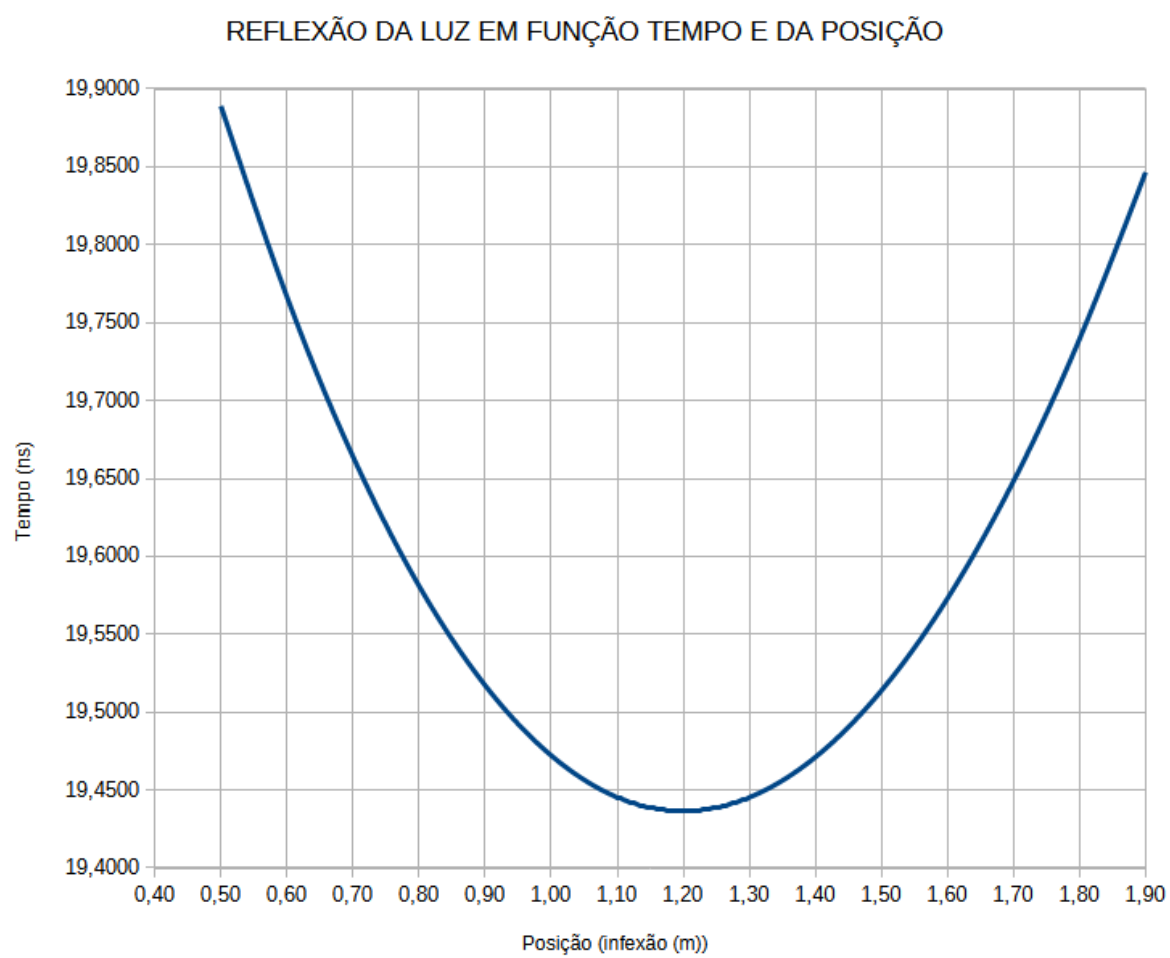


Figura 20 – Reflexão: tempo em função do ponto de incidência

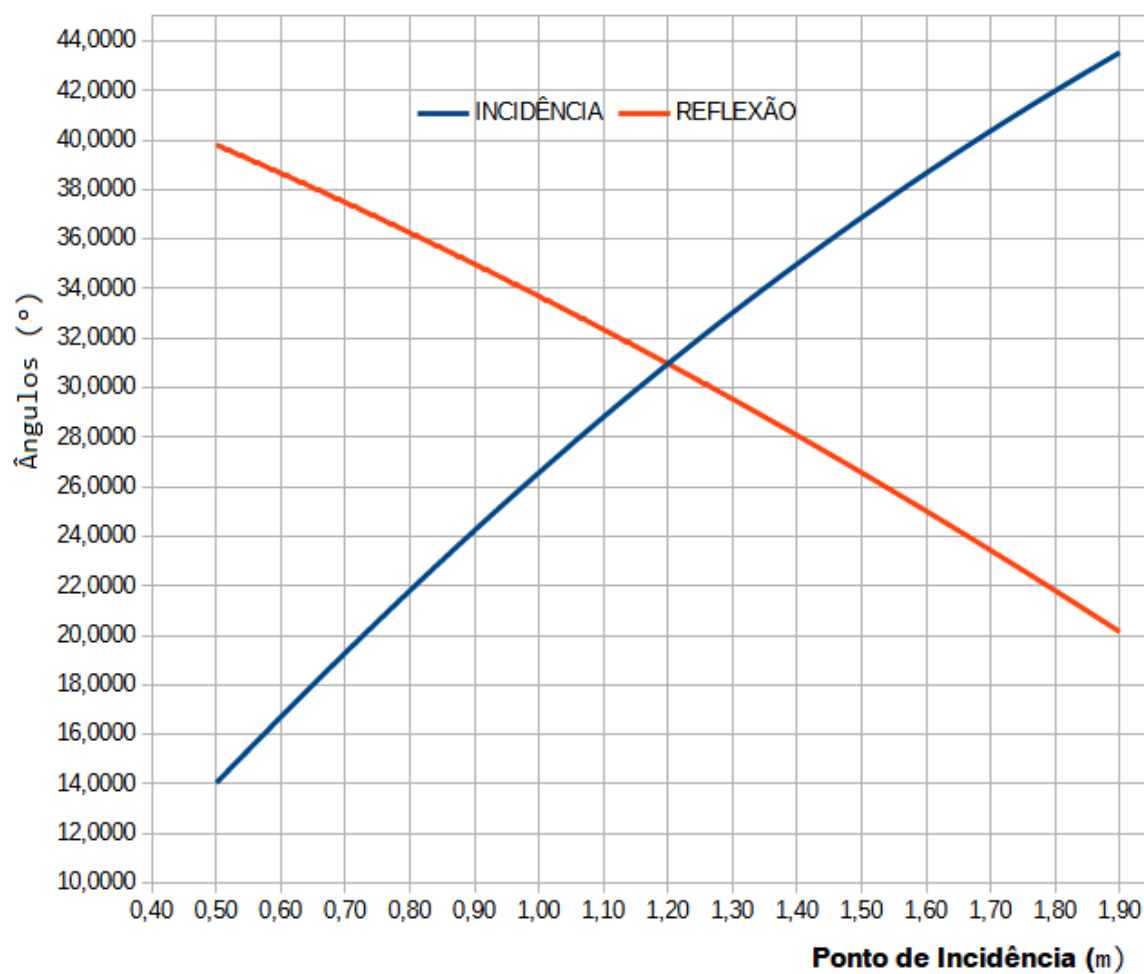
Ângulos de Incidência e reflexão em função do ponto de incidência

Figura 21 – Ângulos de incidência e reflexão em função do Ponto de incidência

3.1.3 As Leis da Reflexão

1ª Lei: O ângulo de incidência e o ângulo de reflexão apresenta os mesmos valores.

2ª Lei: O raio de luz incidente, o raio refletido e a normal à superfície refletora estão todos no mesmo plano.

3.1.4 Princípios da Óptica Geométrica

Em meios homogêneos para uma frente de onda o comprimento de onda $\lambda \rightarrow 0$ a propagação da é retilínea: é o domínio da Óptica Geométrica, (HECHT, 2002) faz o seguinte resumo:

A Óptica Geométrica preocupa-se com a manipulação controlada de frente de onda (ou feixes de raios luminosos) através de objetos refletoras e/ ou refringentes, sem considerar os efeitos da difração

3.1.4.1 Princípio da Propagação Retilínea da luz

A luz se propaga em linha reta em meios homogêneos e transparentes. Ao incidir sobre um obstáculo, o feixe de luz projeta o contorno do obstáculo, revelando suas dimensões, como mostrado na figura(23). A figura (22) mostra a trajetória retilínea da luz atravessando vários objetos com orifícios alinhados.

link para acessar a simulação do princípio da Propagação Retilínea da luz atravessando vários objetos <<https://bit.ly/01propRetilinea02>>

3.1.4.2 Independência dos raios de luz

Quando dois raios ou feixes de luz se cruzam, eles não são afetados em suas trajetórias nem em sua intensidade luminosa, como ilustrado na figura (23). Devemos observar a região onde os raios de luz não conseguem chegar. Esta região fica escura e a chamamos de umbra. A região que recebe apenas raios provenientes de uma das fontes, chamamos de penumbra. No entanto, a penumbra também ocorre com uma fonte extensa, como o Sol, durante um eclipse solar.

link para acessar a simulação da Independência dos raios de luz <<https://bit.ly/3zw7GV9>>

3.1.4.3 Princípio da reversibilidade dos Raios de Luz

O Princípio da Reversibilidade dos Raios de Luz afirma que a trajetória de um raio de luz é reversível. Em outras palavras, se um raio de luz pode seguir um determinado caminho ao se propagar de um ponto a outro, ele também pode percorrer o mesmo caminho

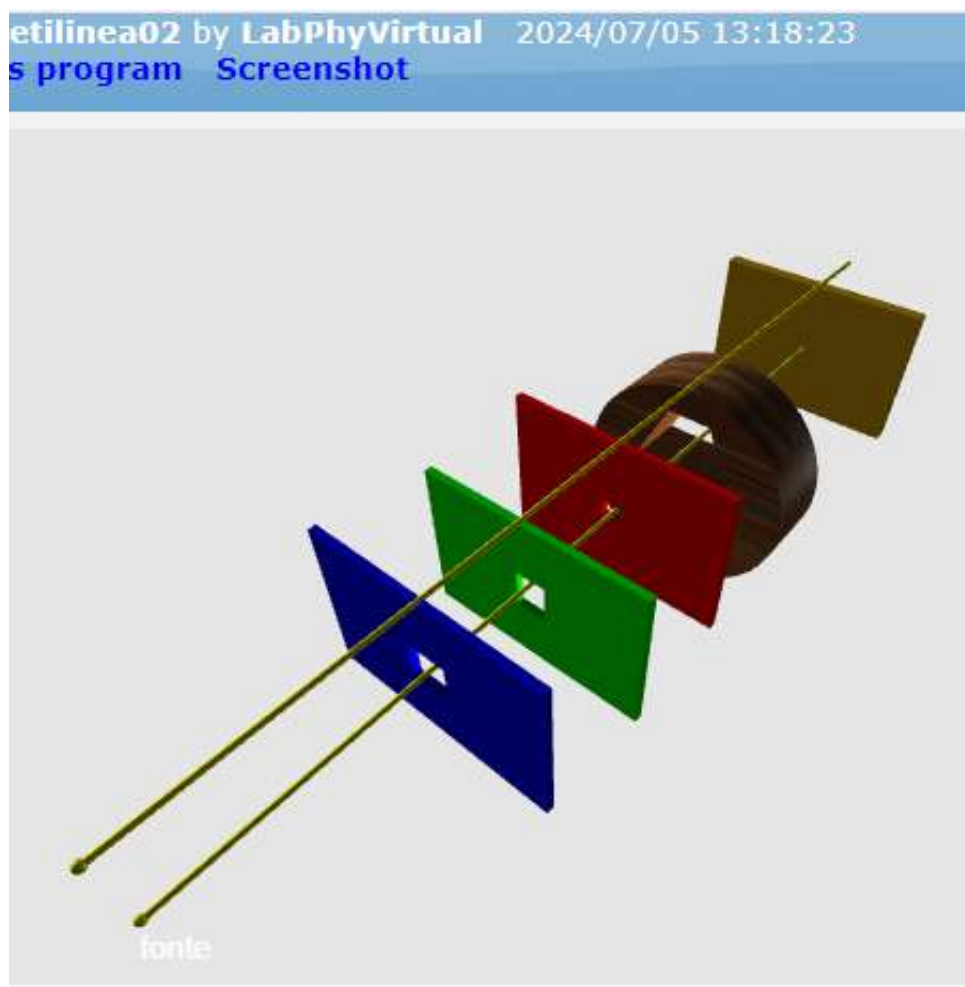


Figura 22 – Propagação Retilínea da Luz
fonte o autor no GlowScript

em sentido inverso e seguir a mesma trajetória. Isso significa que, ao refletir ou refratar, a luz segue a mesma trajetória, independentemente da direção do seu movimento. Este princípio é um corolário do Princípio de Fermat e é fundamental na óptica, pois permite que se considere a luz como se ela seguisse as mesmas leis de reflexão e refração em ambas as direções, como ilustrado na figura (24)

Link para acessar a simulação da reversibilidade dos Raios de Luz <<https://bit.ly/03ReversibilidadeRaios>>

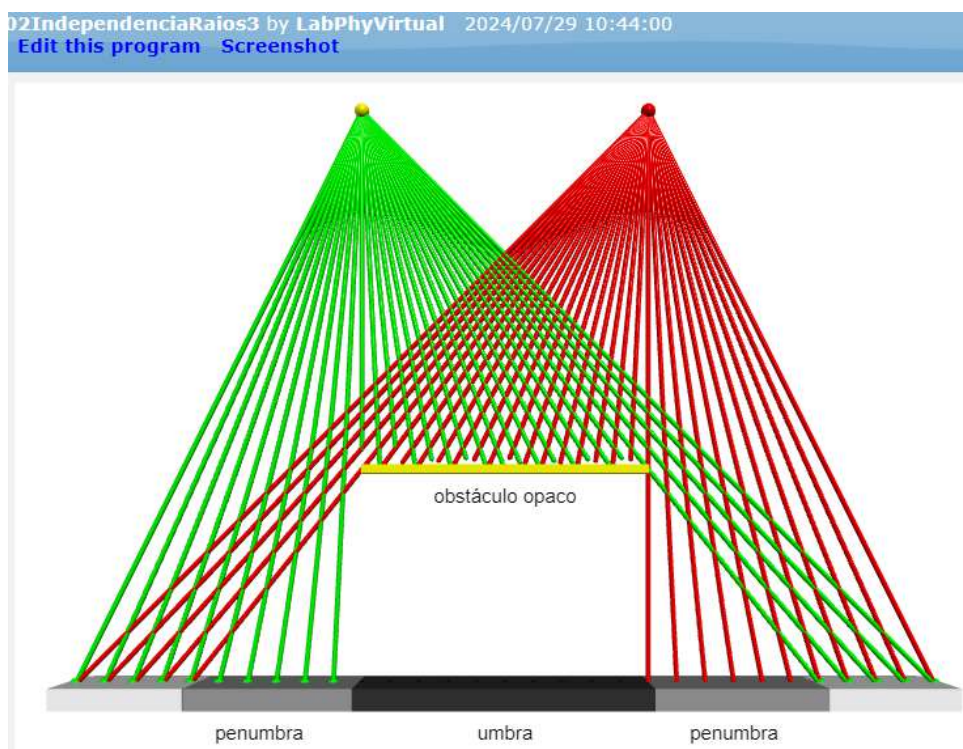


Figura 23 – Independência dos Raios, umbra e penumbra
fonte o autor no GlowScript

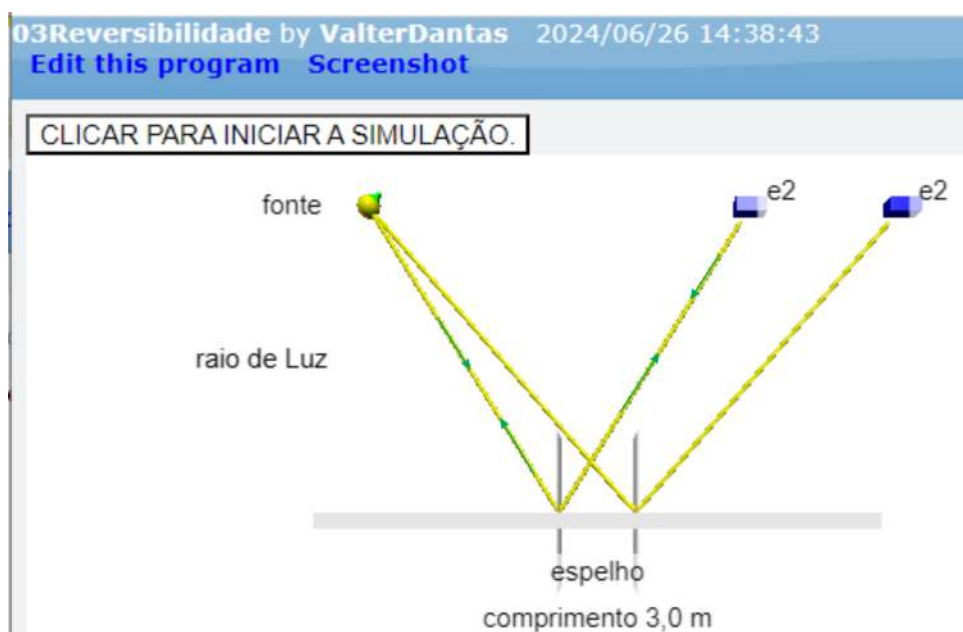


Figura 24 – Reversibilidade dos Raios de Luz
fonte o autor no GlowScript

3.1.5 Formação da Imagem por reflexão

As duas leis da reflexão permitem explicar a formação e as características das imagens. Se um objeto (fonte) emite um raio luminoso que se reflete e chega aos olhos de um observador, veremos a imagem do objeto do outro lado do espelho, como se fosse uma duplicata. Isso é ilustrado na figura (25), onde a imagem aparece no prolongamento do raio refletido.

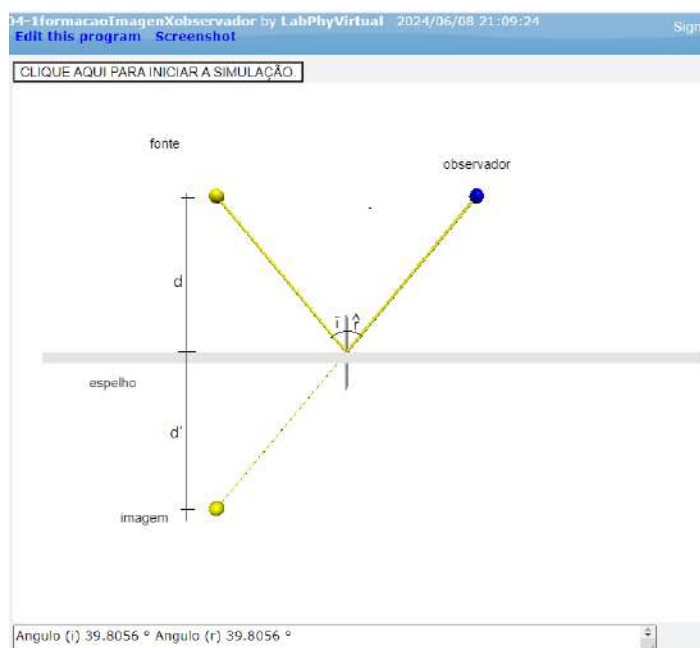


Figura 25 – Formação da Imagem no Espelho plano
fonte o autor no GlowScript

Quando o observador muda de posição, novo raio refletido chegará aos olhos do observador e o prolongamento do novo raio refletido vai localizar a imagem no mesmo local da imagem anterior, observa-se então que o observado movendo-se dentro do campo de visão do espelho, vai ver a imagens na mesma posição, o mesmo aconteceria de tivesse outros observadores viriam a imagem no mesmo local **I**.

A imagem **I** (imagem do objeto) está situada na interseção dos prolongamentos de todos os raios refletidos. Na realidade, no ponto **I** não há nada; o cérebro interpreta os raios refletidos como se tivessem vindo daquele ponto, criando a ilusão de que o objeto está atrás do espelho. As direções dos raios que alcançam os olhos do observador são as mesmas como se tivessem vindo de um objeto localizado atrás do espelho.

As imagens formadas em um espelho plano, como ilustrado nas figuras 25 e 26, podem ser visualizadas através da simulação acessível pelo link (<<https://l1nq.com/04-1formacaoImagenXobservador>>).

Quando a imagem está situada na interseção dos prolongamentos dos raios refletidos, ela é chamada de *imagem virtual*, pois não é formada pelos raios refletidos reais, mas sim

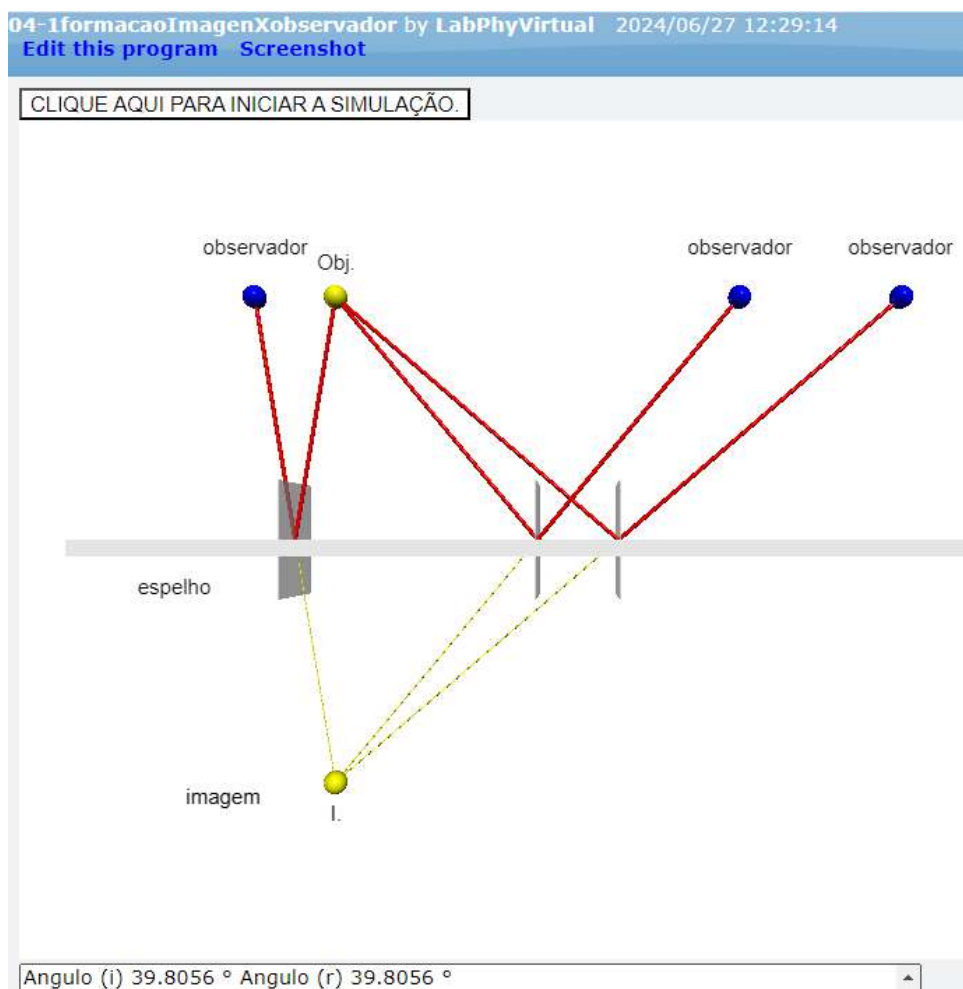


Figura 26 – Formação da Imagem no Espelho plano e o observador
fonte o autor no GlowScript

pelos seus prolongamentos. Nesse sentido, a imagem virtual é uma espécie de ilusão óptica, pois, no local onde a vemos, não há nada real. As principais características da imagem virtual são: ela não pode ser projetada em telas e é sempre direita e simétrica.

3.1.5.1 Formação da Imagem Ponto a Ponto

Preparamos uma simulação com a finalidade de mostrar ao estudante como se processa a formação da imagem em um espelho plano. Escolhemos cinco raios emitidos pelo objeto, obedecendo à lei da reflexão, para a formação da imagem. como ilustrado na figura (27). A simulação pode ser acessado pelo link: (<<https://bit.ly/3y4yWK5>>).

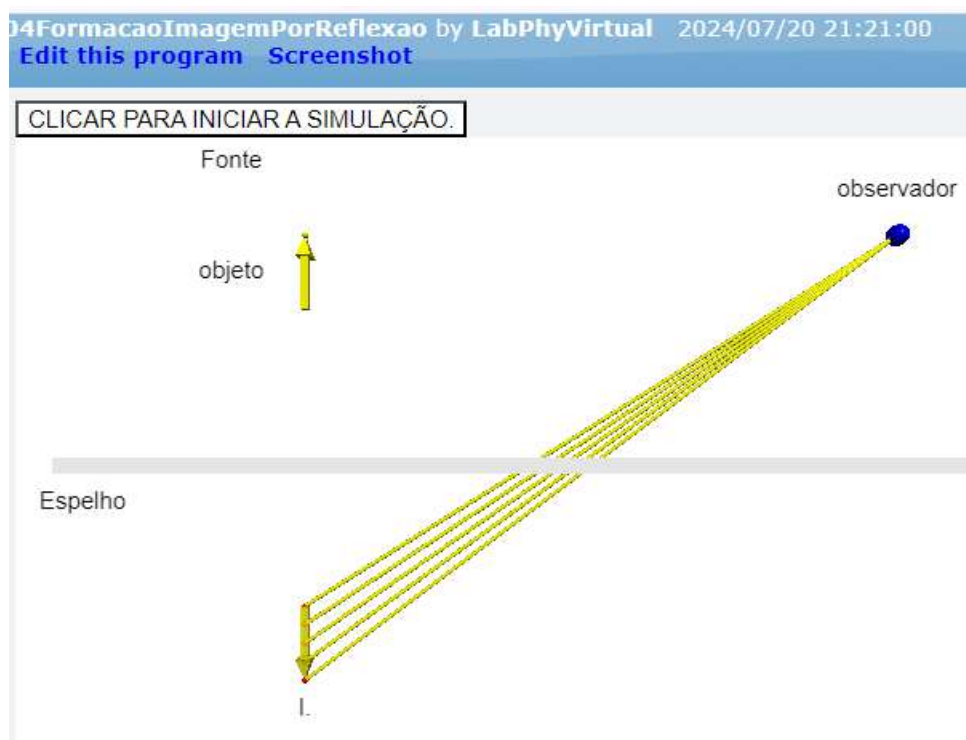


Figura 27 – Formação da Imagem com a emissão de cinco emitidos do objeto no Espelho plano, os raios luminosos que entram nos nossos olhos parece provir de um ponto atrás do espelho. É nesse ponto que a imagem da seta é formada. fonte o autor no GlowScript

3.1.5.2 Campo de Visão de um espelho plano

O campo de visão em um espelho plano refere-se à região do espaço que pode ser observada pelo olho humano quando se olha diretamente para o espelho. A figura (28) ilustra essa limitação: os raios de luz emitidos pela fonte que incidem fora do espelho não serão refletidos pelo espelho e, portanto, não atingirão os olhos do observador. Podemos concluir que o principal limitador do campo de visão do observador é o comprimento do espelho plano. A simulação pode ser acessado pelo link: (<<https://bit.ly/campodeVisao>>).

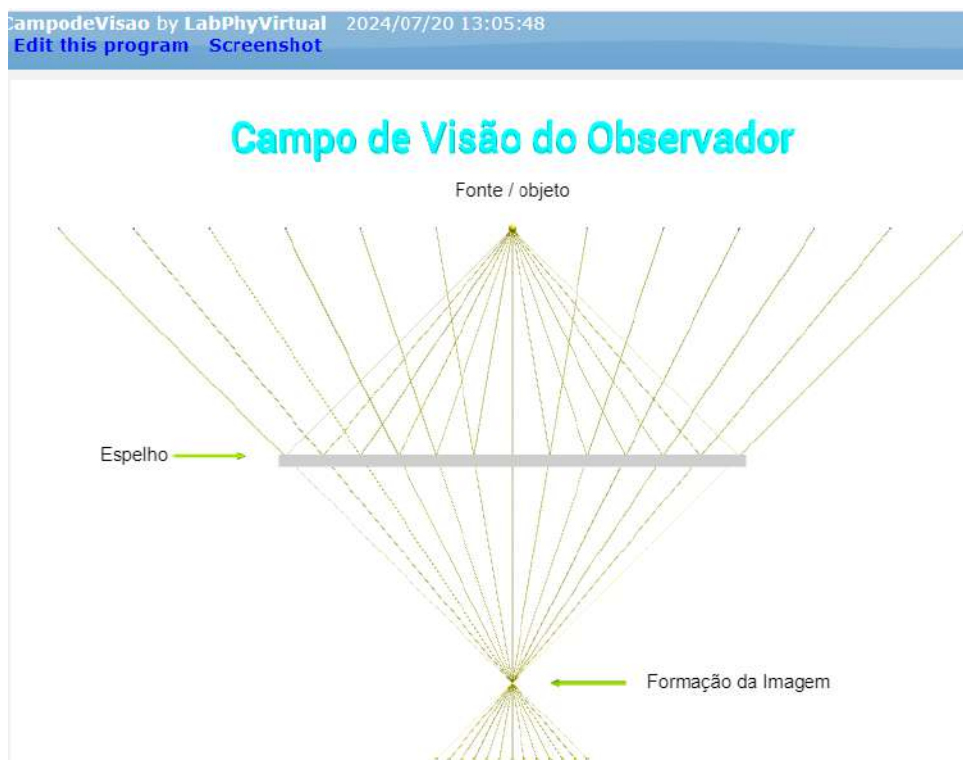


Figura 28 – Campo de Visão do Observador.
fonte o autor no GlowScript

3.2 Refração da Luz

Refração, segundo (HOUAISS; VILLAR; FRANCO, 2001), Fis., mudança da direção de uma onda que se propaga em um determinado meio ao passar obliquamente para outro meio no qual a velocidade de propagação é alterada.

Para exemplificar esse conceito da refração, uma pessoa correndo na areia da praia como uma determinada velocidade, ao adentrar na água encontra dificuldade de manter a mesma velocidade, logo sua velocidade é diminuída. Newton referiu esse fenômeno como desvio angular. Em seu livro (NEWTON, 2002) descreveu:

A refringência dos raios de luz é a tendência de serem refratados ou desviados da trajetória quando passa de um corpo ou meio transparente para outro. E uma refringência maior ou menor dos raios é a tendência de se desviarem em maior ou menor grau da sua trajetória em incidência semelhantes no mesmo meio.

axioma 1 *Os ângulos de reflexão e refração então no mesmo plano que o ângulo de incidência*

axioma 2 *Os ângulos de reflexão é igual ao ângulo de incidência (já conhecida na Grécia antiga)*

axioma 3 *Se o raio refratado for devolvido diretamente ao ponto de incidência, será refratado na reta descrita anteriormente ao raio incidente.*

axioma 4 *A refração do meio mais rarefeito para o meio mais denso se dá em direção à perpendicular, isto é, de forma que o ângulo de refração seja menor que o ângulo de incidência.*

axioma 5 *O seno de incidência está para o seno de refração em uma certa razão precisa ou muito aproximada.*

A figura (29) representa uma frente de onda que vai ao encontro de uma interface, fronteira entre dois meio distintos e não homogêneo. Analisemos aqui o seu movimento, por se tratar de uma onda, relembremos algumas características básica da onda, as regiões mais claras (1) chamamos de crista, enquanto a região mais escura de vale (2) e que a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivo chamamos de comprimento de onda (λ). Façamos aqui um destaque para os pontos **A** e **B** para ilustrar o fenômeno da refração, o ponto **A** encontra-se na interface dos dois meios e o ponto **B** encontra-se a uma distância de quatro vales da interface, a qual podemos chamar de $v_i \Delta t$. A figura 29 nos mostra, a onda após passar para o meio de transmissão sofre uma mudança no seu comprimento de onda (λ_t). Observando a figura 29 vemos que o ponto **B** vai atingir o

ponto **D** no intervalo de tempo Δt e que nesse mesmo instante o ponto **A** atinge o ponto **E**, o segmento $\overline{AE} < \overline{BD}$ como outra observação na figura que temos um triângulo retângulo $\triangle ABD$, vemos que a hipotenusa \overline{AD} , $\sin(\theta_i) = \frac{\overline{BD}}{\overline{AD}}$ para o meio de transmissão temos o triângulo retângulo $\triangle ADE$ $\sin(\theta_t) = \frac{\overline{DE}}{\overline{AD}}$ como a hipotenusa \overline{AD} é comum aos dois triângulos podemos escrever:

$$\frac{\sin(\phi_i)}{\overline{BD}} = \frac{\sin(\phi_t)}{\overline{AE}} \quad (3.21)$$

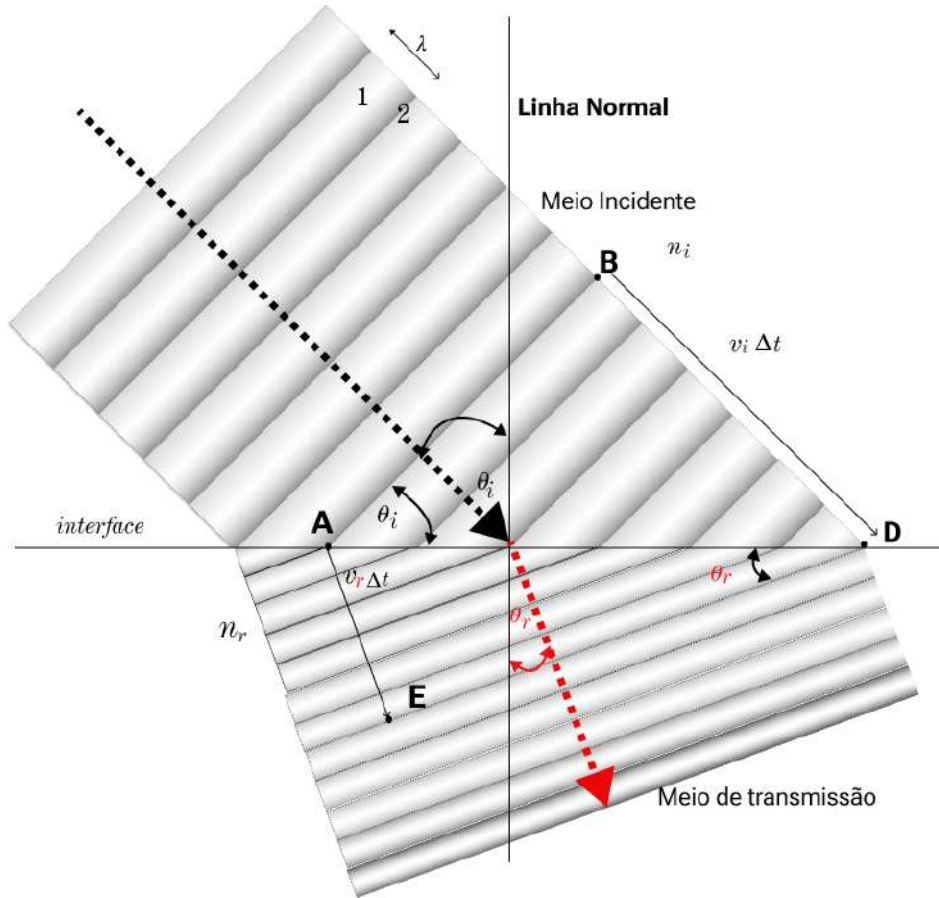


Figura 29 – Frente de Ondas com refração
Fonte(HECHT, 2002), adaptada

o segmento $\overline{BD} = v_i \Delta t$ e o segmento $\overline{AE} = v_t \Delta t$, podemos rescrever a equação 3.21

$$\frac{\sin(\theta_i)}{v_i} = \frac{\sin(\theta_t)}{v_t} \quad (3.22)$$

Esse desvio na trajetória da onda, figura 29 está relacionado as propriedades físico-química (meio óptico), estrutura atômica e densidades entre os dois meios, se o meio incidente for menos denso (menos refringentes) que o meio de transmissão, o ângulo de incidência (θ_i) será maior que o ângulo refratado (θ_t), então há uma diminuição da velocidade da onda no meio de transmissão, ocorrendo o inverso o ângulo ($\theta_i < \theta_t$) e sua velocidade aumenta.

$$\frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_t)} = \frac{v_i}{v_t} \quad (3.23)$$

A equação 3.23 serviu de suporte para (SILVA et al.,) ao apresentar um trabalho de fácil reprodução para a determinação do índice de refração do acrílico com variação dos ângulos de incidência, com um aparato de baixo custo. O significado do índice de refração de um objeto está relacionado com a velocidade da onda (v_i) no meio incidente e a velocidade da onda (v_t) no meio de transmissão (refratado).

$$n_{it} = \frac{v_i}{v_t} \quad (3.24)$$

Chamamos o índice n_{it} de índice de refração relativo entre os dois meios. Vamos particularizar o fenômeno da refração para uma onda eletromagnética, a luz. Neste caso a velocidade da luz no vácuo assume a nomenclatura (c), a qual vamos usar como referência para a determinação do índice de refração da luz em um meio homogêneo e transparente com uma velocidade v , que caracterizamos por índice de refração absoluto.

$$n = \frac{c}{v} \quad (3.25)$$

Vamos multiplicar ambos os membros da igualdade da equação 3.22 por c e combinando com a equação 3.25, teremos:

$$\frac{\sin(\theta_i) \cdot c}{v_i} = \frac{\sin(\theta_t) \cdot c}{v_t} \quad (3.26)$$

$$n_i \cdot \sin(\theta_i) = n_t \cdot \sin(\theta_t) \quad (3.27)$$

A equação 3.27 é conhecida como a Lei da Refração, ou lei de Snell-Descartes. Para Fermat a refração se reduzia a um problema de geometria, figura 30:

Dados dois A e B e a reta DB, devemos encontrar um ponto na reta DB a qual se conduza as retas BC e BA, sendo que para minimizar o tempo, a luz busca percorrer uma trajetória maior no meio menos denso, no qual tem velocidade maior (AB) e inversamente percorre uma trajetória menor no meio mais denso, onde terá uma velocidade menor (BC). O ponto B encontrado pela construção deste problema será o ponto onde se fará a refração (FERMAT, 1894) p.356)

A proposta descrita por Fermat se deu em 1657, ao escrever para De La Chambre ao configurar a ideia do caminho mínimo para a luz.

A nossa proposta é reproduzir a ideia de **Fermat** usando a plataforma GlowScript (figura 32) para a refração da luz, usaremos como suporte a figura 31. Vamos verificar o tempo que a luz partindo da *Fonte* até atingir o *Alvo*, esse percurso a luz ao passar por dois meios

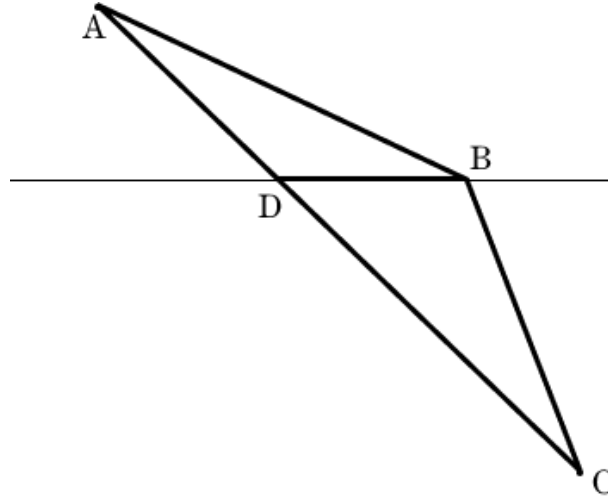


Figura 30 – Teoria de Fermat sobre a refração
Fonte: (FERMAT, 1894)

distintos e transparentes e consequentemente com velocidades distintas. Chamaremos v_i e v_t respectivamente as velocidades nos meios Incidente e de Transmissão. O percurso da luz no meio incidente (*Fonte até o ponto P*)

$$r_i = \sqrt{h_1^2 + x^2} \quad (3.28)$$

e para a luz partindo do ponto P, na interface entre os dois meios até atinja o alvo é:

$$r_t = \sqrt{h_2^2 + (L - x)^2} \quad (3.29)$$

O tempo que a raio de luz é emitido pela fonte até atingir o alvo será a soma dos tempos gasto da fonte até a superfície (P) e da superfície (P) até o alvo (A); $t = t_{FP} + t_{PA}$. Podemos definir o tempo como sendo a relação entre deslocamento e velocidade,

$$t_{FP} = \frac{r_i}{v_i} \quad (3.30)$$

e

$$t_{PA} = \frac{r_t}{v_t} \quad (3.31)$$

$$t = \frac{r_i}{v_i} + \frac{r_t}{v_t} \quad (3.32)$$

usaremos o conceito do índice de refração descrito na equação 3.25

$$t = \frac{n_i \cdot r_i}{c} + \frac{n_t \cdot r_t}{c} = \frac{1}{c}(n_i \cdot r_i + n_t \cdot r_t) \quad (3.33)$$

fazendo as substituições das equações 3.28 e 3.29 teremos:

$$t = \frac{1}{c}[n_i \cdot (h_1^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}] + n_t[h_2^2 + (L - x)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.34)$$

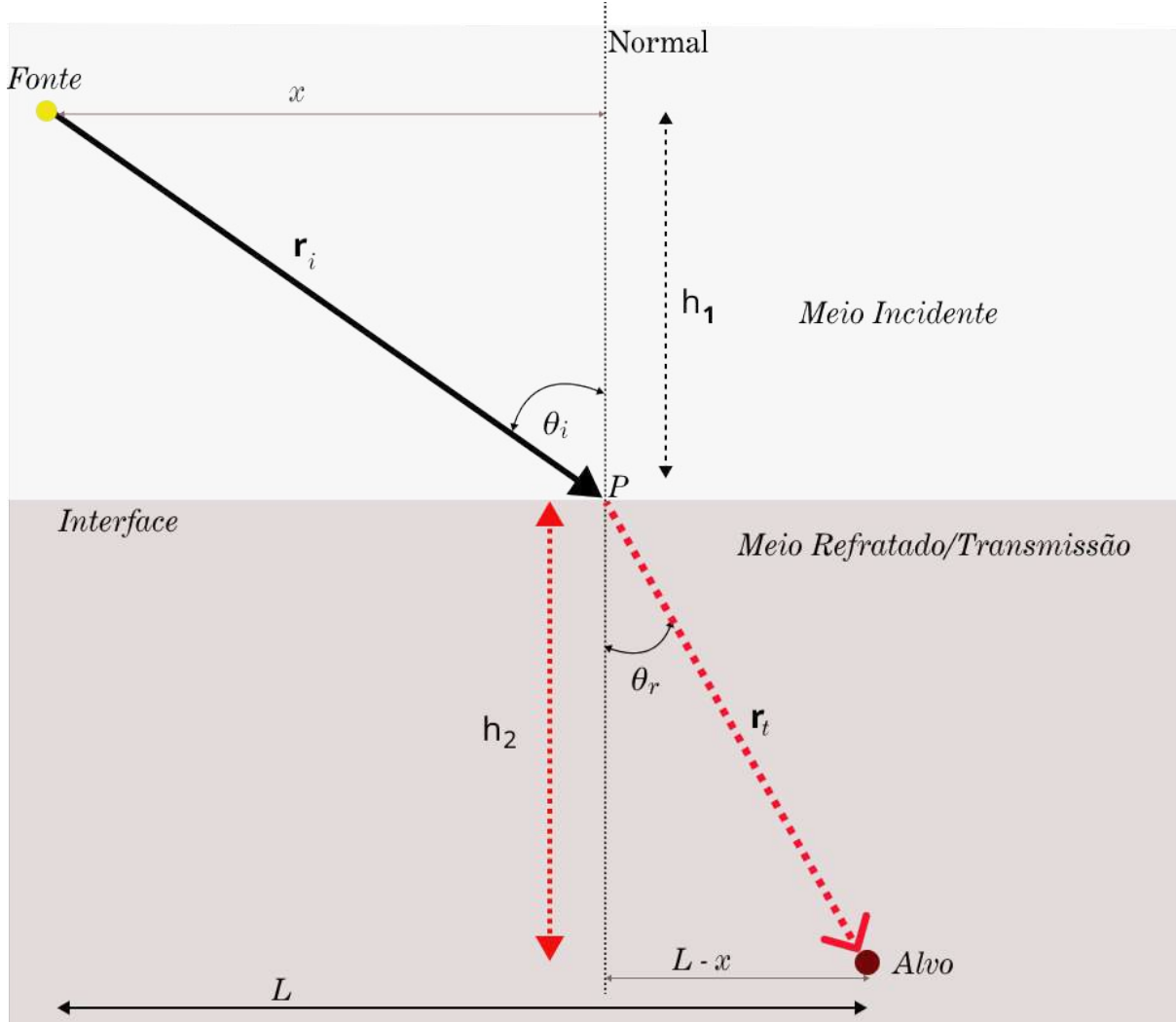


Figura 31 – Trajetória da luz entre dois meios
Fonte: Autor

vamos derivar 3.34 $\frac{dt}{dx}$, então teremos:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{c} \left[\frac{n_i}{2} (h_1^2 + x^2)^{\frac{(-1)}{2}} 2x + \frac{n_t}{2} (h_2^2 + (L - x)^2)^{\frac{(-1)}{2}} (-2L + 2x) \right] \quad (3.35)$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{c} \left[\frac{n_i \cdot x}{\sqrt{(h_1^2 + x^2)}} - \frac{n_t \cdot (L - x)}{\sqrt{(h_2^2 + (L - x)^2)}} \right] \quad (3.36)$$

Para corroborar o princípio de **Fermat** em o tempo t depende do valor de x

$$\frac{dt}{dx} = 0 \quad (3.37)$$

$$\frac{n_i \cdot x}{\sqrt{(h_1^2 + x^2)}} = \frac{n_t \cdot (L - x)}{\sqrt{(h_2^2 + (L - x)^2)}} \quad (3.38)$$

Observando a figura 31, recorreremos a trigonometria do triângulo retângulo para descrever a função seno para os dois meios.

$$\sin(\theta_i) = \frac{x}{\sqrt{(h_1^2 + x^2)}} \quad (3.39)$$

e

$$\sin(\theta_t) = \frac{L - x}{\sqrt{(h_2^2 + (L - x)^2)}} \quad (3.40)$$

Então podemos reescrever a equação (3.38) em função dos índices de refração e de seus senos, incidência e refração.

$$n_i \cdot \sin(\theta_i) = n_t \cdot \sin(\theta_r) \quad (3.41)$$

A equação (3.41), é igual da equação (3.42) da lei de Snell-Descarte para a refração.

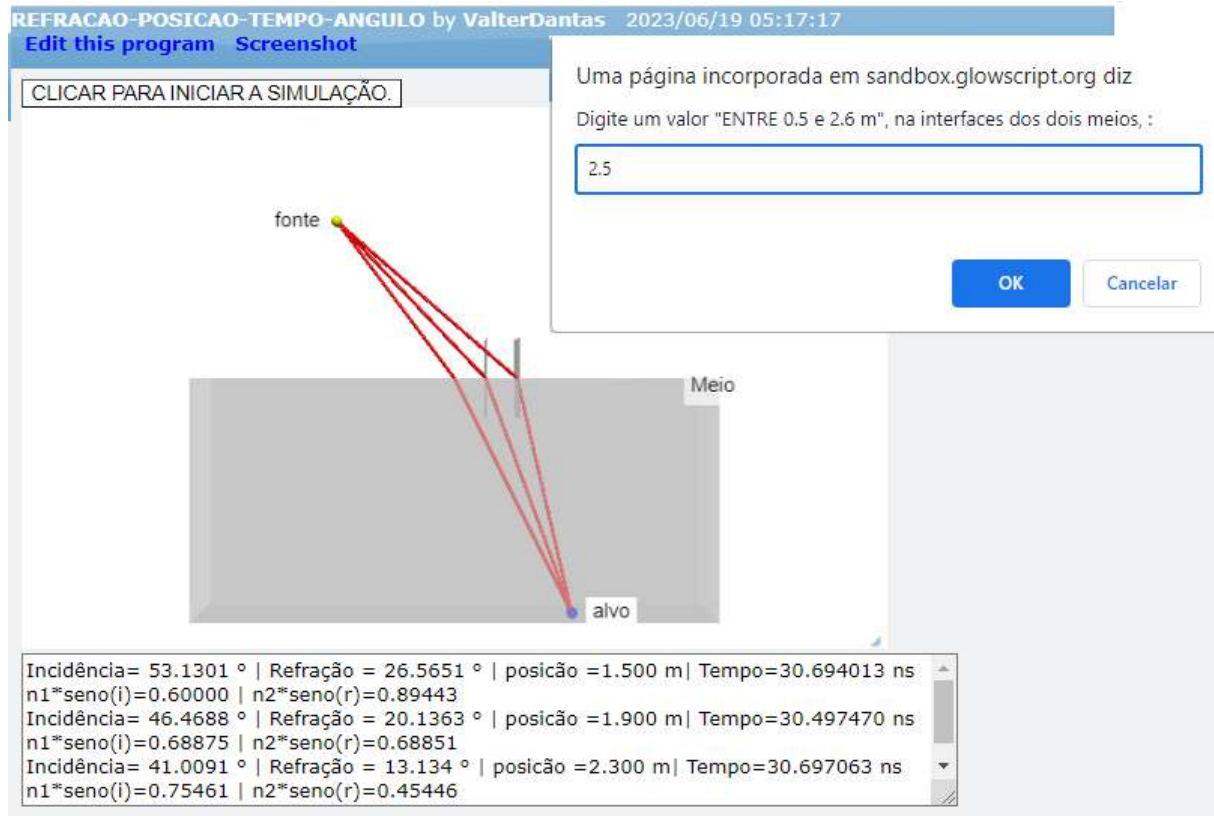


Figura 32 – Ambiente do GlowScript para a refração da luz
 Fonte: autor no GlowScript

Ordem	Ponto de incidência (m)	Tempo (ns)	incidência $n_1 \cdot \sin(\theta_i)$	refração $n_2 \cdot \sin(\theta_r)$
1	1,20	31,0984	0,514496	1,028990
2	1,30	30,9392	0,544988	0,986025
3	1,40	30,8044	0,573462	0,941176
4	1,50	30,6940	0,600000	0,795215
5	1,60	30,5251	0,658505	0,769231
6	1,70	30,5097	0,668965	0,742781
7	1,80	30,5005	0,679042	0,715872
8	1,85	30,4980	0,684910	0,699508
9	1,89	30,4976	0,686837	0,694018
10	1,90	30,4975	0,688749	0,688509
11	1,95	30,5006	0,698100	0,660701
12	2,00	30,5099	0,707107	0,632456
13	2,10	30,5473	0,724138	0,574696
14	2,20	30,6096	0,739940	0,515325
15	2,30	30,6971	0,754606	0,454459
16	2,40	30,8097	0,768221	0,392232
17	2,50	30,9477	0,780869	0,328798
18	2,60	31,1111	0,792624	0,264327

Tabela 2 – Coleta de dados da simulação referente a refração da luz, para o meio incidente $n_1 = 1$ e o meio refratado $n_2 = 2$

Usamos uma planilha do Excel para a inserção dos dados e a construção do gráfico do ponto de incidência em função do tempo, figura(33), observamos que a curva apresentada assemelha-se a uma parábola e tem concavidade positiva, logo terá um vértice mínimo, com abscissa 1,90 m que corresponde a uma ordenada 30,4975 ns para o menor tempo; que corrobora com o princípio de Fermat é válido para a refração da luz.

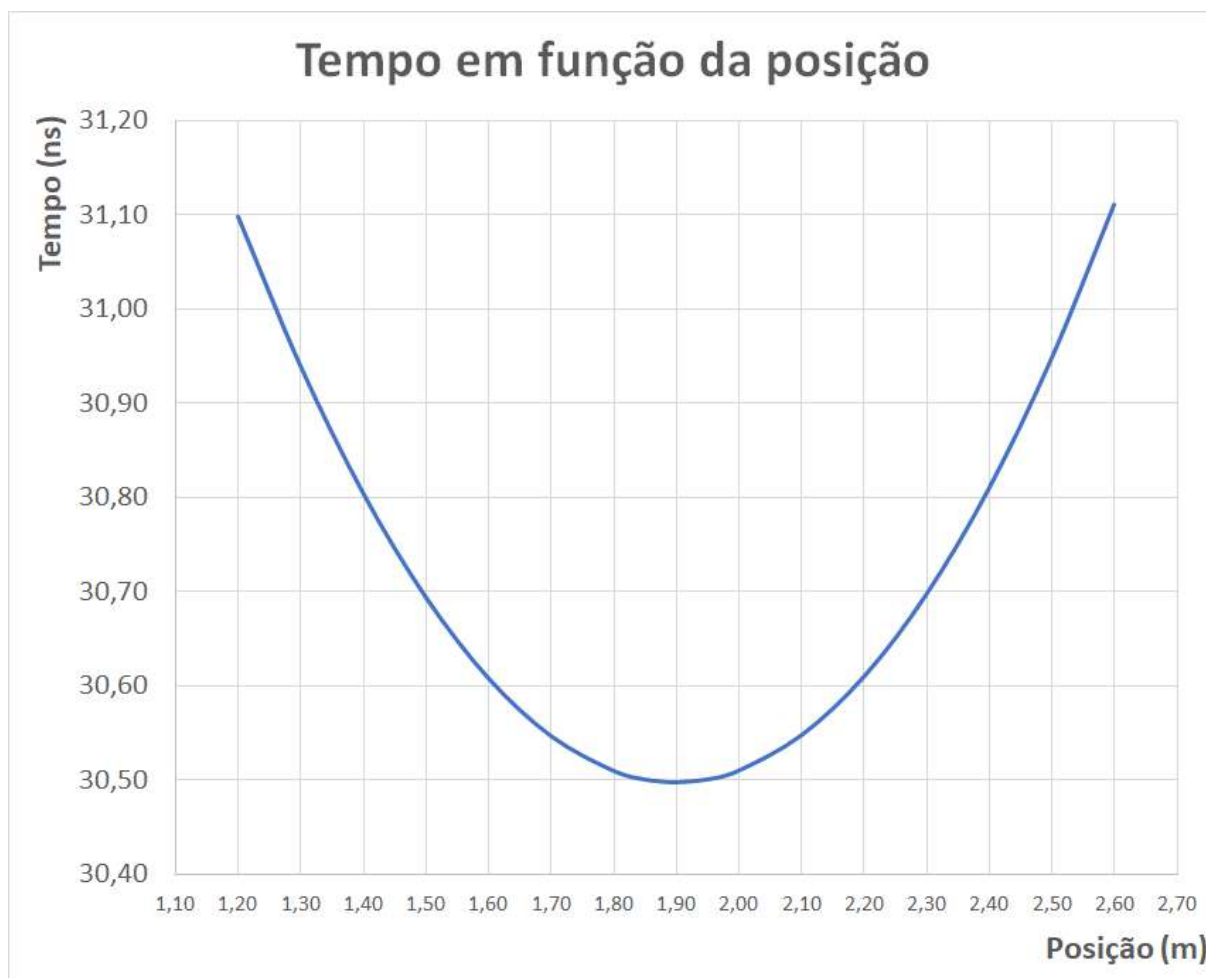


Figura 33 – Refração: tempo x ponto de incidência

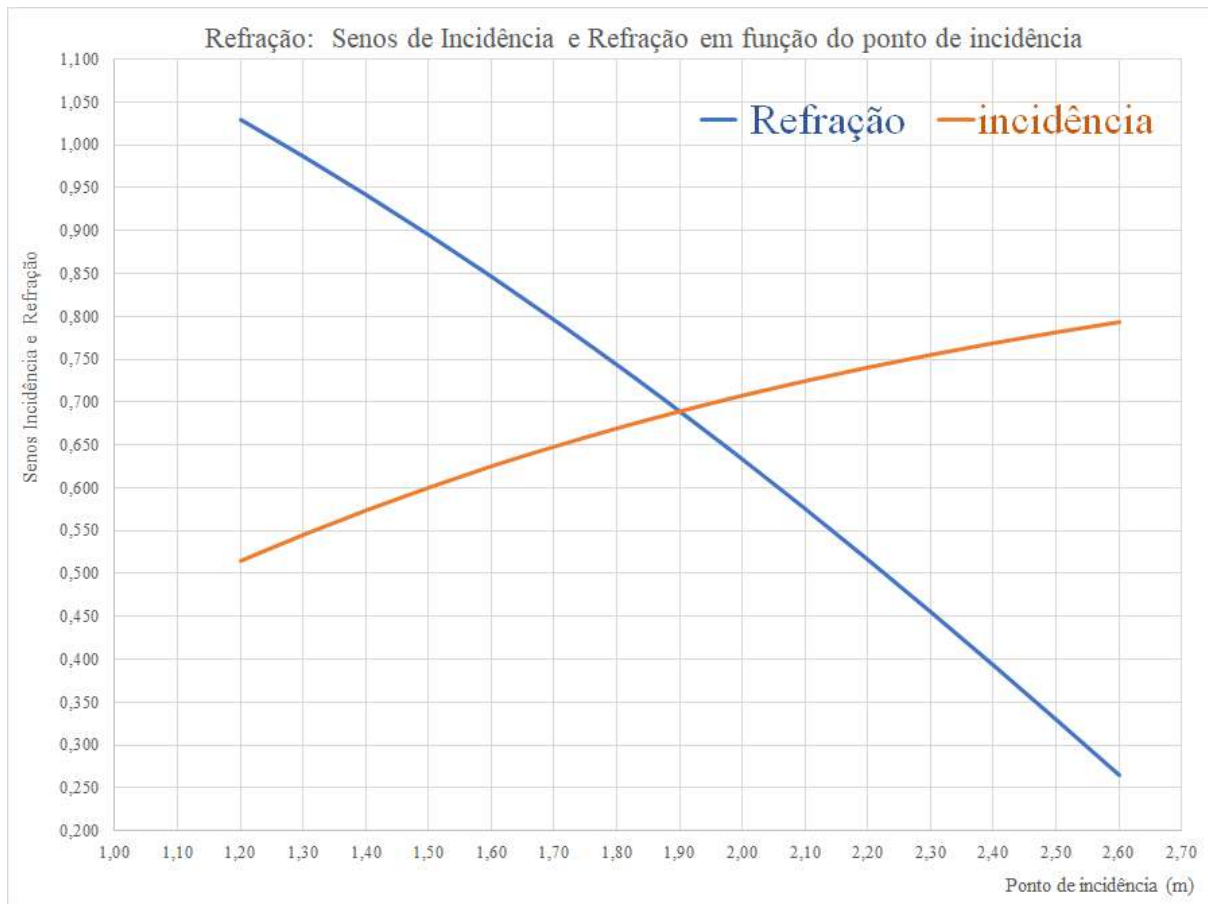


Figura 34 – Refração: Senos de Incidência e Refração em função do ponto de incidência

Podemos concluir que o O princípio de Fermat explica o comportamento da luz para a reflexão e a refração, além disso, este princípio pode ser aplicado entre outras áreas da Física, como a mecânica clássica e a teoria das ondas.

3.2.1 Reflexão Interna Total

Quando um raio de luz passa de um meio transparente para outro, uma parte se reflete e outra atravessa a superfície e se refrata. Entretanto, em certas condições a luz não pode atravessar a superfície de separação ainda que os dois meios sejam perfeitamente transparente, *reflete-se totalmente*. A luz percorrendo em materiais transparente, por exemplo o vidro a sua velocidade é atenuada, pois o índice de refração do vidro é maior que o índice de refração do ar.

Vejamos uma simulação através do link

<[https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/05Refracao\(Limite\)>](https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/05Refracao(Limite)>) para a Reflexão total dos Raios de Luz, figura (35).

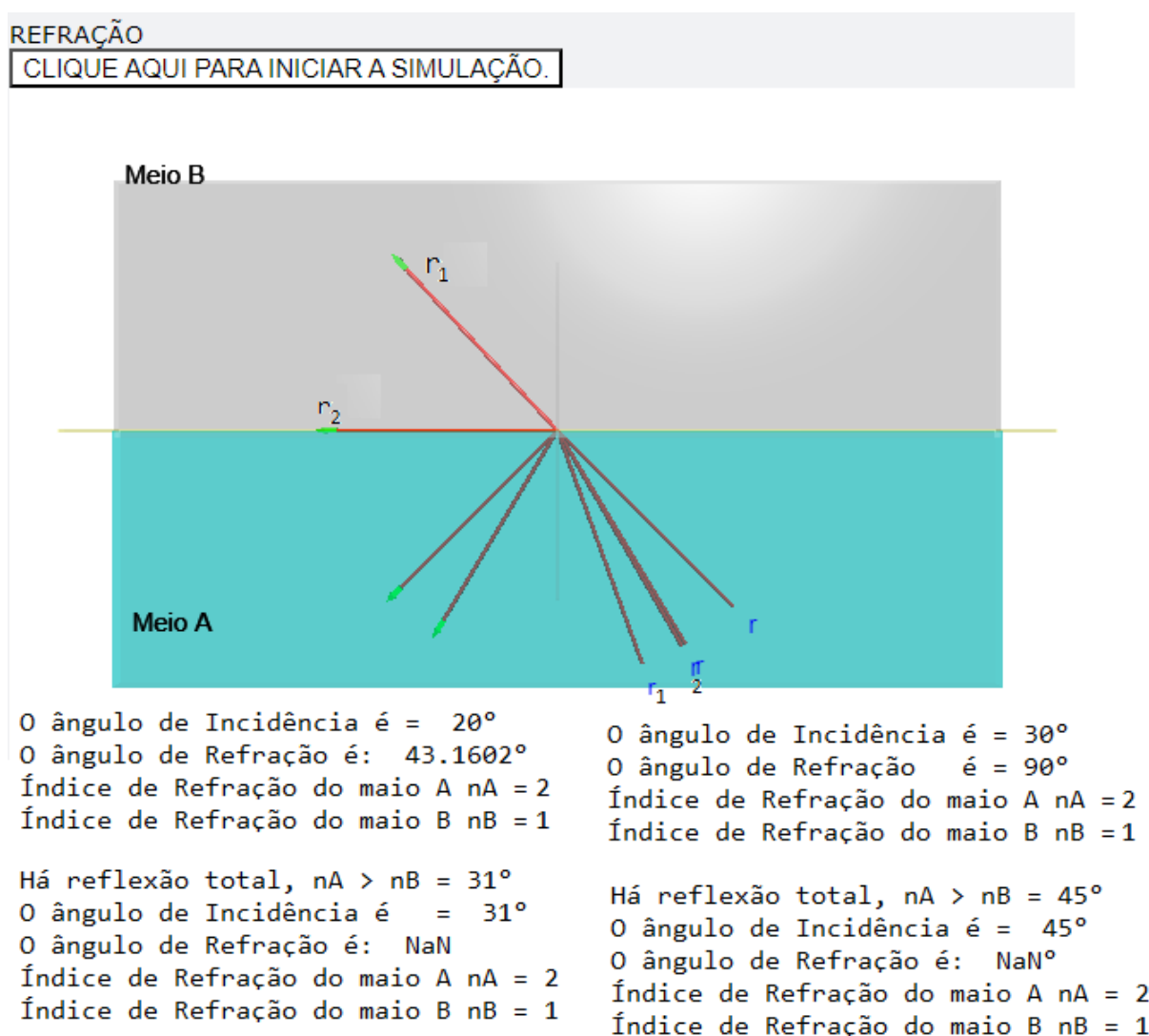


Figura 35 – Reflexão interna total
fonte: o autor no GlowScrit

A medida que o raio de luz atravessa a fronteira entre o meio A com índice de refração ($n_A=2$) e meio B com índice de refração ($n_B=1$), comparando r_1 e r_2 , conforme

o ângulo de incidência aumenta, o raio refratado se afasta da normal até chegar a um limite (r_1) que chamamos normalmente de ângulo limite (L) ou ângulo crítico (θ_c), nesse ângulo, raio é refratado com o ângulo de 90° com relação a normal, a partir disso o raio de luz é completamente refletido, como ficasse "aprisionado" no meio A. A esse fenômeno chamamos de **reflexão interna total**.

A reflexão interna total só possível quando um raio de luz encontra-se em meio de índice de refração é maior que o índice de refração da fronteira. Podemos verificar essa validade usando a lei de Snell-Descartes, equação (3.42)

$$n_i \cdot \sin(\theta_i) = n_t \cdot \sin(\theta_t) \quad (3.42)$$

$$n_i \cdot \sin(\theta_i) = n_t \cdot \sin(90^\circ) \quad (3.43)$$

$$n_i \cdot \sin(\theta_i) = n_t \cdot (1) \quad (3.44)$$

$$L = \arcsin\left(\frac{n_t}{n_i}\right) \quad (3.45)$$

$$L = \arcsin\left(\frac{1}{2}\right) \quad (3.46)$$

$$L = 30^\circ \quad (3.47)$$

Este valor é identificado na figura (35), percebemos que o ângulo limite depende do índice de refração do meio em ambos os lados de uma fronteira.

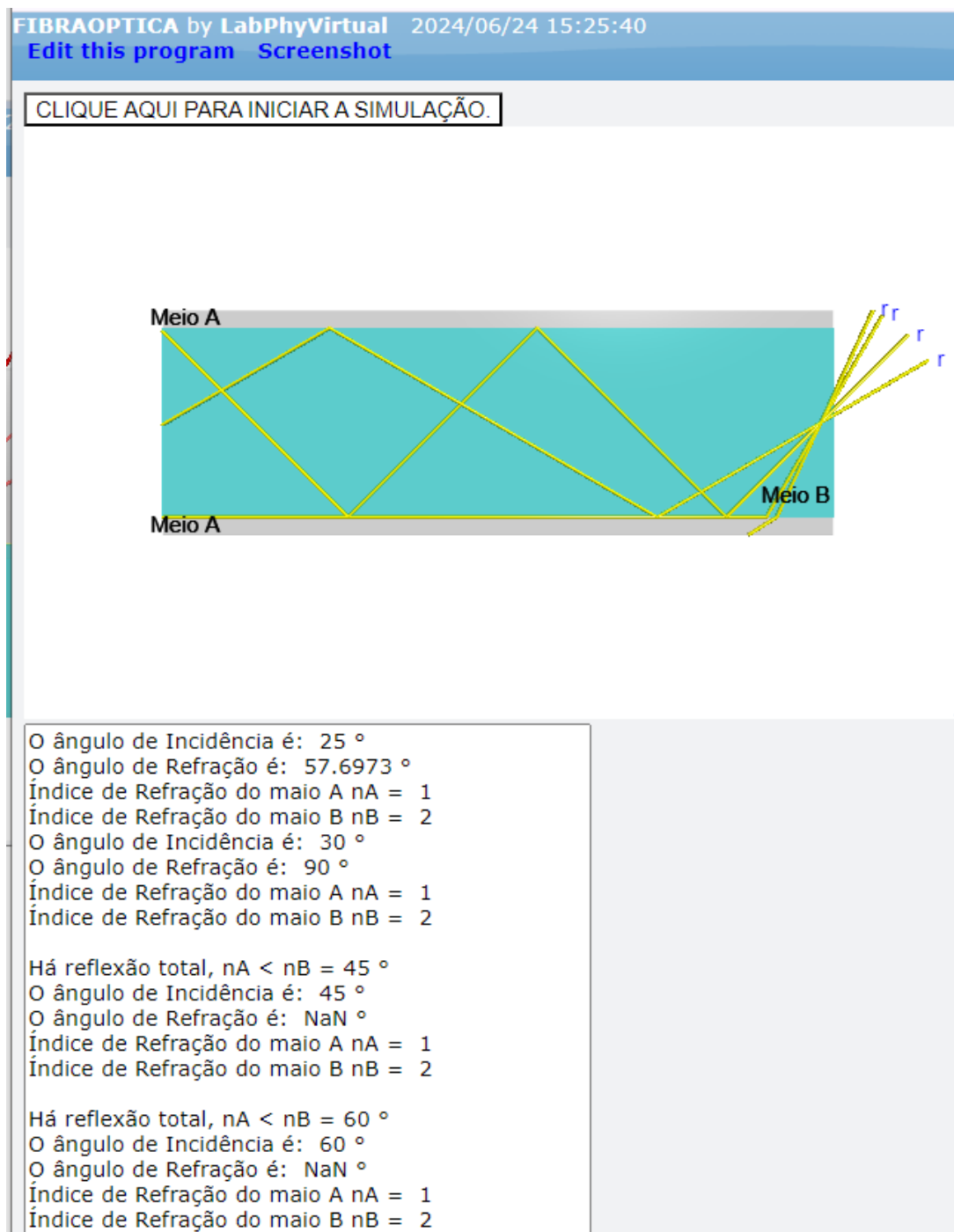


Figura 36 – Fibra Óptica
 fonte: o autor no GlowScript

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

4.1 Reflexão da Luz

É preciso formar o estudante para que ele seja capaz de conhecer os conteúdos curriculares e reconhecê-los em seu cotidiano, construir novos conhecimentos a partir de sua vivência e utilizá-los em situações com as quais possam se defrontar ao longo de sua vida. A experimentação no ensino da Física, tem como finalidade motivar o estudante a desenvolver expectativas de como vai ocorrer o experimento e que respostas ele vai obter nesse experimento. Optamos por uma sequência Didática usando uma simulação que descreva o comportamento da luz em superfícies refletoras como também em superfícies refratadas.

Como assinala Bachelard (1938) "todo conhecimento é a resposta de uma questão"

4.1.1 EXPERIMENTO TURMA 1A

Esse o experimento foi trabalho juntamente com a disciplina Investigação Científica, atendendo as Habilidades relacionadas às Competências Gerais da BNCC.

(EMIFCG01) Identificar, selecionar, processar e analisar dados, fatos e evidências com curiosidade, atenção, criticidade e ética, inclusive utilizando o apoio de tecnologias digitais.

A atividade teve como premissa por em pratica as etapas do método científico, o qual estudamos e debatemos em aulas teorias e leitura de textos sobre Investigação Científica a qual podemos sintetiza; Observação, Questionamento, Hipóteses, Experimentação, Análise dos Resultados e Conclusão. Na atividade começamos com a experimentação, onde seria observado o comportamento de um raio luz ao ser incidido sobre uma superfície refletora (espelho). Nossa intenção é colocar o estudante como agente ativo no processo de aprendizagem, usando as simulações computacionais

4.1.2 Procedimentos

1. acessar a plataforma GlowScript: <<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/04Reflexao-01>>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
2. clicar em "CLICAR PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"

3. Escolher uma medida entre 0.2 e 2.9 m (posição no espelho (de 3 metros de comprimento), para que o raio de luz incida nele)
4. Preencher a tabela 3 da coleta de dados.
5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.) em vez de vírgula (,)"

EREM José Mariano				
Professor:	Valter de Assis Dantas	Disciplina:	Física	DATA
Estudante		Estudante		
Ordem	Ângulo de Incidência ($^{\circ}$)(ϕ_i)	Ângulo de Reflexão ($^{\circ}$)(ϕ_r)	Ponto de incidência (m)	Tempo (ns) $n = 10^{-9}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

Tabela 3 – Coleta de Dados Para a Simulação da lei da Reflexão

4.1.3 EXPERIMENTO TURMA 2C

4.1.4 Procedimentos

1. acessar a plataforma GlowScript: <<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/04Reflexao-01>>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
2. clicar em "CLICAR PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"
3. Escolher uma medida entre 0.1 e 2.9 m (posição no espelho (de 3 metros de comprimento), para que o raio de luz incida nele)
4. Preencher a tabela (3) da coleta de dados.
5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.) em vez de vírgula (,)"

A turma do 2C preencheu a tabela (3) coletando os dados do experimento virtual conforme orientação, após a coleta dos dados a turma foi orientado a usar as planilhas eletrônicas do Excel ou LibreOffice Calc, a depender qual planilha estava instalada no computador.

4.1.5 EXPERIMENTO TURMA 2B

4.1.6 Procedimentos

A utilização da simulação computacional tem um potencial de gerar resultados na aprendizagem mais significativa, uma vez que os estudantes estão efetivamente envolvidos e fornece um "*feedback*" rápido, pois estão focado no fenômeno, evitando assim abstrações desnecessárias ou precoce .

A aplicação dessa sequência didática teve como base a aprendizagem significativa, no qual foi valorizado os conhecimentos prévios produzidos nas aulas tradicionais sobre a óptica geométrica em particular o princípio de Fermat.

ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Introdução à Óptica Geométrica

A óptica Geométrica estuda o comportamento da luz em termos de raios luminosos. Compreender as diferentes formas de sua propagação para entender alguns fenômenos físico relativos a luz tais como: a formação de eclipse lunar ou solar, a formação de imagens na reflexão e na refração, etc.

OBJETIVOS

- Desenvolver uma simulação computacional como material didático para o ensino da Óptica Geométrica
- Aplicar os conceitos da óptica geométrica
- Raio de Luz
- Feixe de Luz
- Propagação Retilínea dos Raios de Luz
- Independência dos Raios de Luz
- Reversibilidade dos Raios de Luz
- Reflexão da luz em superfície refletora.
- Princípio de Fermat
- Refração da luz

CONTEÚDOS

- Propagação Retilínea da Luz
- Independência dos Raios de Luz

- Reversibilidade dos Raios de Luz
- Índice de refração

PROPOSTAS DAS ATIVIDADES

- Exposição oral dialogada: conceitos da óptica Geométrica
- Mostra a diferença entre sombra e penumbra
- Uso da plataforma GlowScript para mostrar os princípios fundamentais da óptica Geométrica

FORMAS DE AVALIAÇÃO

- Observações efetuadas durante o experimento virtual da reflexão da luz numa superfície espelhada, bem como as discussões e exposições verbais que reflitam o entendimento dos participantes, relacionadas aos conhecimentos sobre a reflexão da luz e fundamentadas no princípio de Fermat.
1. acessar a plataforma GlowScript: <<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/04Reflexao-01>>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
 2. clicar em "CLICAR PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"
 3. Escolher uma medida entre 0.1 e 2.9 m (posição no espelho (de 3 metros de comprimento), para que o raio de luz incida nele)
 4. Preencher a tabela 3 da coleta de dados.
 5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.) em vez de vírgula (,)"

4.2 Texto de Apoio

OBS: LEIA COM ATENÇÃO O TEXTO A SEGUIR E RESPONDA AS QUESTÕES PROPOSTAS.

4.3 Atividade de Física

Justificativa

Discutir sucintamente sobre a natureza da luz, analisar sua propagação nos meios materiais. Analisar comportamento dos raios luminosos na interfase de uma superfície refletora.

4.4 Objetivos

Entender a descrição geométrica da propagação da luz (através de raios), e o **princípio de Fermat**.

4.5 Desenvolvimento

O ramo da óptica que utiliza os raios para descrever a propagação da luz denomina-se **óptica geométrica**. Ela se caracteriza pela simplicidade matemática e é capaz de descrever vários (mas não todos) os efeitos ópticos. A óptica geométrica é baseada em três princípios.

- **Propagação Retilínea da Luz:** Em um meio homogêneo e transparente a luz se propaga em linha reta. Cada uma dessas "retas de luz" é chamada de raio de luz.
- **Independência dos Raios de Luz:** quando dois raios de luz se cruzam, um não interfere na trajetória do outro, cada um se comportando como se o outro, não existisse

- **Reversibilidade dos Raios de Luz:** se o sentido de propagação de um raio de luz é revertido, ele continua a percorrer a mesma trajetória, em sentido contrário.

Todos os três princípios podem ser derivados a partir do Princípio de Fermat, de Pierre de Fermat, que diz que quando a luz percorre a distância de um ponto a outro, ela segue a trajetória que minimiza o tempo do percurso.

A óptica geométrica se aplica ao estudo do fenômeno da reflexão e refração luminosa, sendo frequentemente utilizada na área de análise dos espelhos e lentes. Por outro lado, ela não pode ser aplicada para explicar interferência e difração, por exemplo.

4.5.1 Reflexão da luz

Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície plana, regular e bem polida, um espelho por exemplo, o feixe de luz retorna ao mesmo ambiente de forma ordenada.

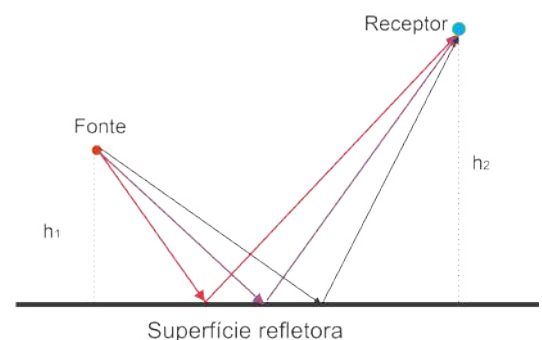


Figura 37 – Reflexão

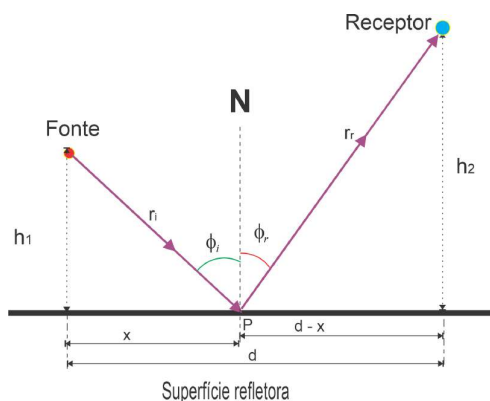


Figura 38 – Reflexão

Estudante: _____

Turma: 2º _____

1. Observando as figuras 1 e 2, qual a leitura que você faz entre elas ?
2. No texto qual o ramo da óptica que utiliza os raios para descrever a propagação da luz?
3. No texto como você descreve o princípio de Fermat?
4. O Que você entende por independência dos raios de luz?
5. Que você entendeu sobre a reflexão da luz?

4.6 Refração da Luz

4.6.1 Atividade 01

A refração é a passagem da luz de um meio para outro. Nesta passagem, a luz pode sofrer um desvio em sua trajetória. Este desvio ocorre porque a luz, ao passar de um meio para o outro, propaga-se com velocidades diferentes.

Você se lembra que a velocidade da luz é igual a c (300.000.000 m/s) no vácuo. Com essa velocidade, a luz é capaz de dar 7 voltas e meia ao redor da Terra em um segundo. Entretanto, a luz tem velocidade menor que c em qualquer outro meio, devido à maior densidade desses meios.

O índice de refração é uma medida de quanto a luz é retardada em um meio em comparação ao vácuo. Por exemplo, quando a luz passa do ar para a água, ela desacelera, fazendo com que sua trajetória se desvie. Isso explica por que um objeto submerso na água parece estar em uma posição diferente de onde realmente está.

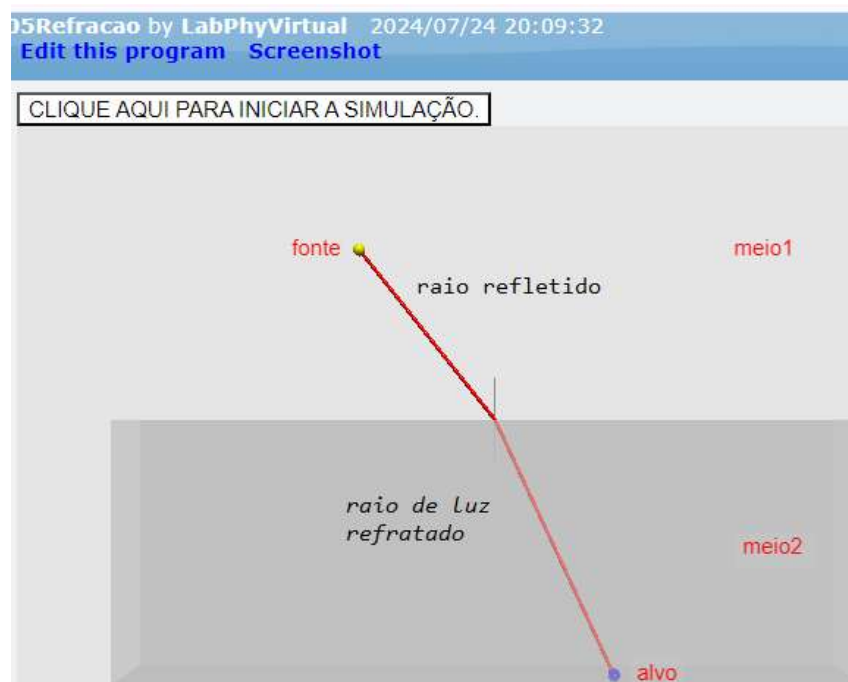


Figura 39 – Refração da luz
Fonte: o autor no GlowScript

1. No texto a letra ' c ' em **negrito** representa que grandeza física?

_____ item

O n_2 , figura 42 representa o índice de refração, que é uma relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio (v).

Sendo assim o valor numérico de

$$n_2 = \frac{c}{v} \quad (4.1)$$

Então, vamos calcular o valor de n_2 , onde a velocidade da luz nesse meios seja 150.000.000 m/s

2. Observe o pescador na figura 40. Tentando pescar um peixe. Qual o princípio físico que tratar as duas imagens?

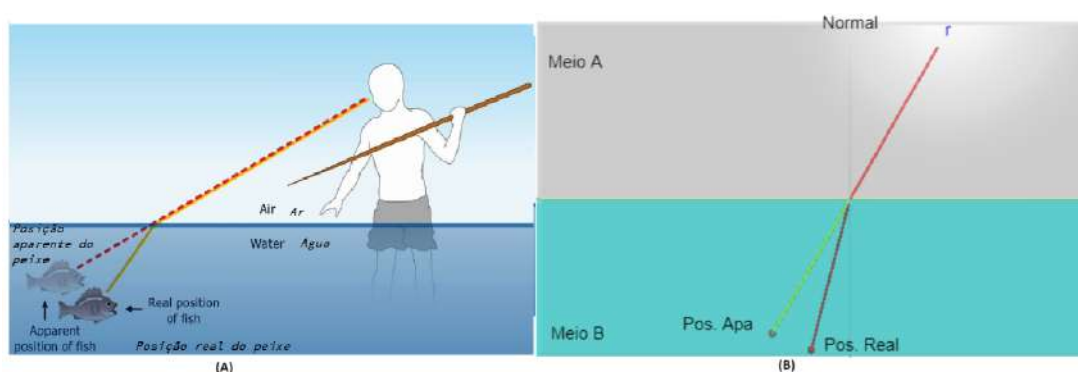


Figura 40 – Posição aparente do objeto: fonte: (A) fonte <<https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg>>, (B) o autor

3. (Adaptado do livro (ÁVILA, 2003) exemplo 5 capítulo 8). Um salva-vida em terra, no ponto A, no momento em que um banhista começa a se afogar num ponto B (figura 41).

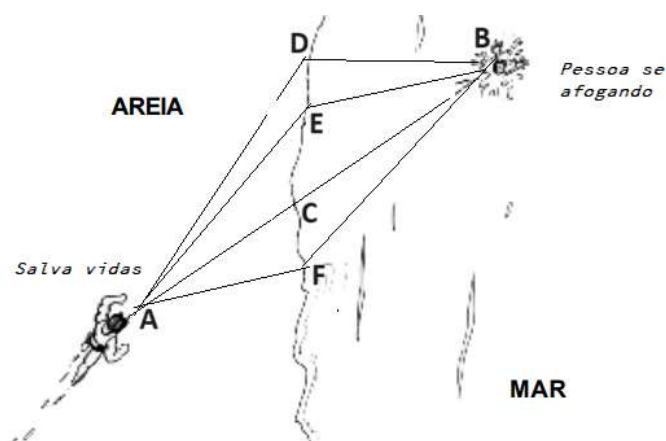


Figura 41 – Trajetória do salva-vidas
 fonte: adaptação <<https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg>>

Qual a trajetória que o salva-vidas deve escolher dentre as alternativas abaixo para socorrer a vítima no menor tempo possível, de acordo com a figura (41)?

- a) AF e FB
- b) AC e CB
- c) AE e EB
- d) AD e DB

4.6.2 Atividade 02 (Refração da luz)

Estudante: _____ Turma: 2º _____

Situação-problema 1: Quando um raio de luz passa do ar (meio menos refringente) para a água (meio mais refringente) o que acontece com a direção de propagação da luz?

Para responder à situação-problema vamos acessar o laboratório virtual (LabPhyVirtual).

<<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/06RefracaoEReflexao>>

Vamos seguir algumas orientações:

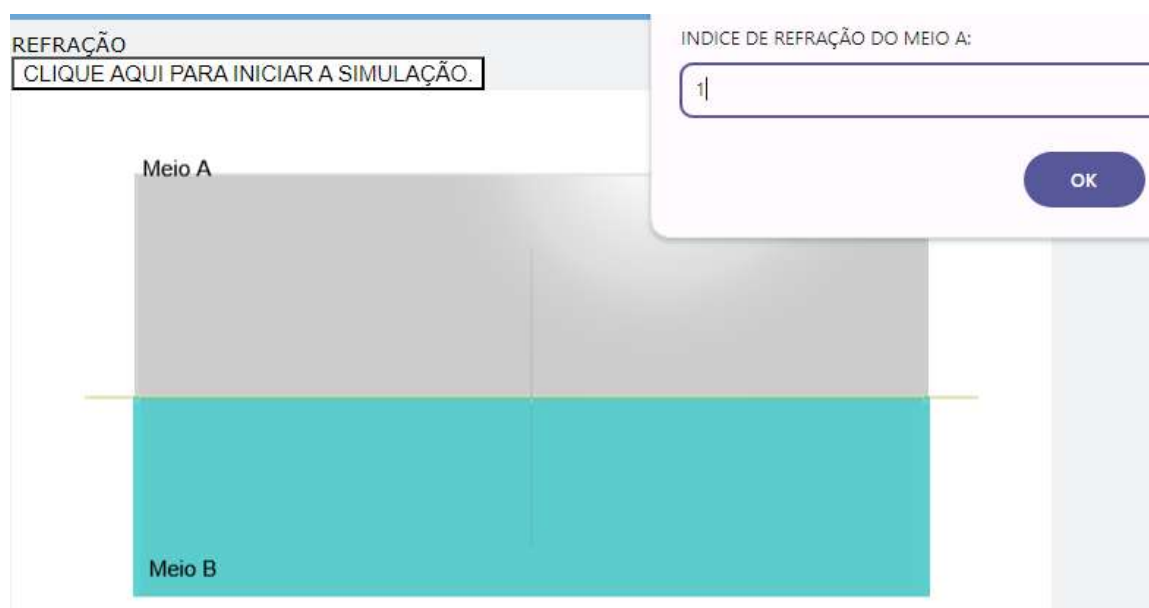


Figura 42 – Ativ. Refração
fonte: o autor no GlowScri

Para iniciar a simulação vamos usar para o índice de refração do meio A (o ar), 1.00 confirme com "OK", para o meio B (a água), 1.33, e para o ângulo de incidência 60° . Clique novamente em "CLIQUE AQUI PARA INICIAR A SIMULAÇÃO". Agora vamos inverter os meios, para o meio A (agora o meio A vai ser a água) 1.33 e o meio B (o ar), 1.00; o ângulo de incidência, também 60° .

1. O que acontece com a direção de propagação da luz?
2. Identifique a normal à superfície de separação e os raios de incidente, refletido e refratado. (Observado na simulação), desenhe os raios na figura (42).
3. Defina:
 - a) ângulo de incidência _____

b) ângulo de refração: _____

4. Vamos agora fazer um experimento para determinar o índice de refração do meio refratado:

índice de refração do meio A (o ar), 1.00 (meio incidente)

Faça variar para cada simulação o ângulo de incidência, registre na tabela os respectivos ângulos de refração e os seus senos, assim como o quociente entre o seno de incidência e o seno da refração

Ângulo(θ_i)°	Ângulo(θ_r)°	seno (θ_i)	seno (θ_r)	quociente = $\frac{\sin(i)}{\sin(r)}$

Tabela 4 – Determinação do índice de refração do material

5. Compare os ângulos de incidência com os ângulos de refração.
6. Qual a relação que você observa com relação ao quociente entre o seno de incidência e o seno da refração?
7. quando o feixe passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o ângulo de refração _____ (maior do que o / igual ao / menor do que o) de incidência: o feixe _____ (aproxima-se / não se afasta nem se aproxima / afasta-se) da normal.
Se o ângulo de incidência for de 0°, a luz refrata-se _____ (e sofre / mas não sofre) desvio.
8. Em inspeção as postos de gasolina, foi separadas três amostras com os respectivos índices de refração: amostra A = 1.30, amostra B = 1.40 e amostra B = 1.50, o experimento foi feito com um ângulo de incidência de 45°. Registre seus respectivos ângulos de Refração.
A) 1.30 _____ B) 1.40 _____ C) 1.50 _____
9. Qual dessas amostra, mais se aproximou da normal?

Esta atividade foi baseada num trabalho do prof. David M. Harrison, hospedado no site: <<https://www.casadasciencias.org/recurso/5744>>, acessado em 05/02/2024.

4.6.3 Princípio de Fermat para a Refração

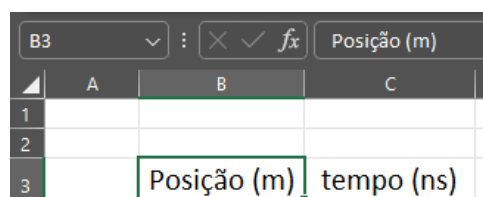
O objetivo dessa simulação é verificar como se comporta a refração da luz, isto é, o desvio sofrido pela luz ao atravessar uma superfície de separação entre dois meios de propriedades diferentes. Para esse procedimento vamos acessar o laboratório virtual, **LaphyVirtual**, acessando o link: <<https://bit.ly/3yr3gi7>>

4.6.4 Procedimentos

1. acessar a plataforma GlowScript: <<https://bit.ly/3yr3gi7>>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
2. clicar em "CLIQUE AQUI PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"
3. Escolher uma medida entre 0 e 3 m (posição na superfície entre os dois meios, ponto de incidência, para incidir o raio de luz e atinja o alvo).
4. Preencher a tabela (5) com a coleta de dados na simulação.
5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.)" em vez de vírgula (,)"
6. Objetivo: Determinar o menor tempo da trajetória do raio de luz até atingir o alvo.
7. analisar os dados referente ao menor tempo, os ângulos de incidência e de refração.

4.6.4.1 Construção do Gráfico

1. Transcreva os dados coleta para uma planilha do Excel ou LibreOffice Calc.



	A	B	C
1			
2			
3		Posição (m)	tempo (ns)

Figura 43 – Planilha do Excel
Fonte: o autor

2. Selecione a coluna da posição e coloque em ordem crescente para fazer o gráfico.

EREM José Mariano				
Professor:	Valter de Assis Dantas	Disciplina:	Física	DATA
Estudante		Estudante		
Ordem	Ponto de incidência (m)	Tempo (ns)	incidência $n_1 \cdot \sin(\theta_i)$	refração $n_2 \cdot \sin(\theta_r)$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

Tabela 5 – Coleta de dados da simulação referente a refração da luz, para o meio incidente $n_1 = 1$ e o meio refratado $n_2 = 2$

5 Resultados

5.0.1 Aplicação do produto na disciplina Investigação Científica; 1º ano A

Nesta turma, utilizamos o produto educacional para validar o princípio de Fermat como suporte para a disciplina de Investigação Científica, que conta com duas aulas semanais. Dentro da proposta de (CARVALHO et al., 2014), os estudantes receberam as informações necessárias para acessar a plataforma Glowscript, além de detalhes sobre o tamanho do espelho, com instruções para limitar os valores escolhidos e utilizar o ponto (.) em vez da vírgula ao digitar decimais. A turma, que composta por 36 estudantes, foi dividida em dois grupos para realizar o experimento na sala de informática, que possui 11 computadores disponíveis. Utilizamos um computador para dois alunos.

O objetivo do experimento era observar o comportamento da trajetória da luz partindo de uma fonte, incidir num espelho em uma determinada posição (ponto de incidência) escolhida pelo estudante até atingir o alvo. Os dados fornecidos pela simulação foram coletados e preenchidos na tabela (3) para verificar em qual posição (ponto de incidência) ocorreria o menor tempo e quais seriam as implicações desse tempo. Utilizamos duas aulas para a coleta de dados e quatro momentos para que os estudantes discutissem o experimento e compartilhassem suas observações.



(A) Alunos aplicando o produto para a reflexão



(B) Alunos discutindo a atividade do experimento

Figura 44 – Alunos do 1ºA Trabalhando
Fonte: o autor

No início do experimento, os estudantes não tinham a menor ideia do que se tratava. No decorrer da atividade, perceberam que o experimento envolvia a luz refletida no espelho. Ao se organizarem em grupos, os alunos se debruçaram sobre os dados coletados e os revisaram. Em determinado momento, pensaram que havia um erro, pois, na posição 1,2 m, algo se diferenciava de todos os outros dados coletados, já que apresentava os mesmos ângulos para a incidência e para a reflexão. Alguns grupos se dispersaram na discussão, até que houve a intervenção do professor, sugerindo que observassem melhor o que haviam comentado na mesma linha. Foi então que o mesmo grupo percebeu que aquele ponto apontava para o menor tempo possível. Após esse análise os estudantes voltaram ao laboratório para fazer a apresentação dos trabalhos para a disciplina Investigação científica, com a construção do gráfico e o slide.



Figura 45 – Apresentação do 1ºA
Fonte: o autor

Apresentado por:
1A

Apresentação de investigação científica.



Principais pensadores do método científico



Galileu Galilei
(1564-1642)



Gaston Bachelard
(1884-1962)

A linguagem das ciências não é só uma linguagem verbal.
As ciências necessitam de figuras, tabelas, gráficos e até mesmo da linguagem matemática.
Para expressar suas construções



Site utilizado para o experimento

www.glowscript.org



Laboratório virtual





Força

raio de luz

espelho comprimento 3,0 m

alvo

Angulo (i) = 24,2277 ° Angulo (r) = 34,9920 ° posição = 0,9 m Tempo 19,51,71 ns
 Angulo (i) = 30,9638 ° Angulo (r) = 30,9638 ° posição = 1,2 m Tempo 19,4365 ns
 Angulo (i) = 41,9872 ° Angulo (r) = 21,8014 ° posição = 1,8 m Tempo 19,7794 ns

Tabela de coleta de dados

Ordem	Angulo de incidência (°)	Angulo de Reflexão (°)	Posição (m)	Tempo (ns)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				



Gráfico

Tabela de dados preenchida

Ordem	Angulo de incidência (°)	Angulo de Reflexão (°)	Posição (m)	Tempo (ns)
1	34,0000	39,8058	0,90	19,8889
2	30,5802	35,0299	0,90	19,7869
3	28,3836	32,4762	0,90	19,6839
4	21,8014	26,2738	0,90	19,5909
5	24,2277	34,9920	0,90	19,5171
6	26,3621	33,6991	1,00	19,4721
7	28,3038	32,3476	1,10	19,4487
8	30,9638	30,9638	1,20	19,4365
9	33,0239	29,5388	1,30	19,4422
10	34,9829	28,0725	1,40	19,4771



Figura 46 – Apresentação do 1ªA
Fonte: o autor

5.0.2 Aplicação do produto na disciplina Física; 2º anos A e B

A estratégia usada no 2ºA e 2ºB, tem como base as demonstrações Investigativas. Preparamos um texto de apoio (4.2) com os principais conceitos da óptica geométrica, servindo de ancoragem para o entendimento da óptica geométrica segundo a visão de Fermat. Após concluído a leitura e responder as questões previstas no texto, acessamos a plataforma do Glowscript para iniciar ao processo investigativo. O processo foi durante a aula, com a situação-problema.

Para ilustrar os princípios fundamentais da Óptica Geométrica, preparamos três simulações de cunho ilustrativo. A primeira simulação aborda o princípio da propagação retilínea da luz e pode ser acessada aqui (<<https://bit.ly/01propRetilinea02>>). A segunda simulação demonstra a independência dos raios de luz, disponível aqui (<<https://bit.ly/3zw7GV9>>). Por fim, a terceira simulação explora o princípio da reversibilidade dos raios de luz, acessível neste link (<<https://bit.ly/03ReversibilidadeRaios>>). Cada uma dessas simulações foi projetada para facilitar a compreensão desses conceitos essenciais e reforçar o aprendizado por meio de exemplos visuais interativos.

As simulações sobre a formação de imagens por reflexão apresentam um caráter investigativo, permitindo que o observador explore como a imagem se mantém na mesma posição, mesmo ao se mover dentro do campo de visão de um espelho plano. Esses conceitos são ilustrados de maneira prática e interativa nas simulações. Elas podem ser acessadas pelos seguintes links: Simulação 1 (<<https://l1nq.com/04-1formacaoImagemXobservador>>), Simulação 2 (<<https://bit.ly/3y4yWK5>>) e Simulação 3 (<<https://bit.ly/campodeVisao>>).

Preparamos duas atividades com situações-problemas para introduzir os conceitos Refração da luz (4.6.1) e (4.6.2)

4.6. Refração da Luz

87

4.6.4 Atividade da Refração da luz

Estudante: [REDACTED] Turma: 2º A

Situação-problema 1: Quando um raio de luz passa do ar (meio menos refringente) para a água (meio mais refringente) o que acontece com a direção de propagação da luz?

Para responder à situação-problema vamos acessar o laboratório virtual (LabPhyVirtual).

<<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/06RefracaoEReflexao>>

Vamos seguir algumas orientações:

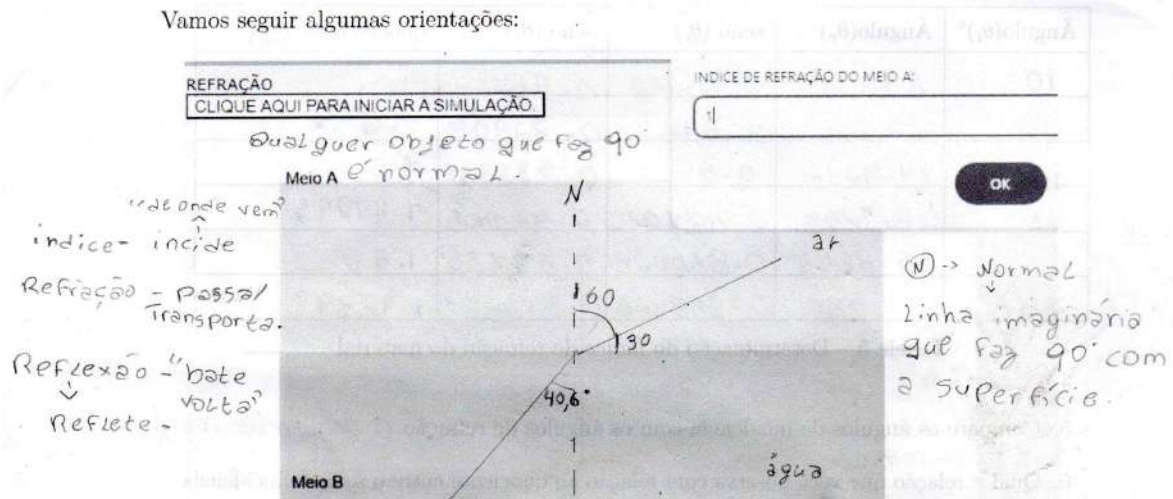


Figura 43 – Ativ. Refração
fonte: o autor no GlowScri

Para iniciar a simulação vamos usar para o índice de refração do meio A (o ar), 1.00 confirme com "OK", para o meio B (a água), 1.33, e para o ângulo de incidência 60°. Clique novamente em "CLIQUE AQUI PARA INICIAR A SIMULAÇÃO". Agora vamos inverter os meios, para o meio A (agora o meio A vai ser a água) 1.33 e o meio B (o ar), 1.00; o ângulo de incidência, também 60°.

1. O que acontece com a direção de propagação da luz?
Sofre um desvio por causa da densidade da água de 60 para 40°
2. Identifique a normal à superfície de separação e os raios de incidente, refletido e refratado. (Observado na simulação), desenhe os raios na figura ?? 43

3. Defina:

- a) ângulo de incidência o ângulo de incidência incide de onde vem é medido entre o raio de luz e a N

Figura 47 – Atividade 02 para os 2ºA e 2ºB

Fonte: o autor

b) ângulo de refração: O ângulo de refração é o ângulo de transporte de um meio para o outro.

4. Vamos agora fazer um experimento para determinar o índice de refração do meio refratado:

índice de refração do meio A (o ar), 1.00 (meio incidente)

Faça variar para cada simulação o ângulo de incidência, registre na tabela os respectivos ângulos de refração e os seus senos, assim como o quociente entre o seno de incidência e o seno da refração

Ângulo(θ_i)°	Ângulo(θ_r)°	seno (θ_i)	seno (θ_r)	quociente = $\frac{\sin(i)}{\sin(r)}$
10	6.64778	0.173648	0.115765	1.5
20	13.1809	0.34202	0.228013	1.5
30	19.4712	0.5	0.333333	1.5
45	28.1253	0.707107	0.471405	1.49999
60	35.2644	0.866025	0.57735	1.5
75	40.087	0.965926	0.643451	1.49999

Tabela 5 – Determinação do índice de refração do material

5. Compare os ângulos de incidência com os ângulos de refração. O ângulo de incidência é sempre maior.
6. Qual a relação que você observa com relação ao quociente entre o seno de incidência e o seno da refração? Em todos os casos a relação foi 1,5
7. quando o feixe passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o ângulo de refração menor do que (maior do que o / igual ao / menor do que o) de incidência: o feixe aproxima-se (aproxima-se / não se afasta nem se aproxima / afasta-se) da normal.
- Se o ângulo de incidência for de 0°, a luz refrata-se mas não sofre (e sofre / ,as mão sofre) desvio.
8. Em inspeção as postos de gasolina, foi separadas três amostras com os respectivos índices de refração: amostra A = 1.30, amostra B = 1.40 e amostra B = 1.50, o experimento foi feito com um ângulo de incidência de 45°. Registre seus respectivos ângulos de Refração.
- A) 1.30 32.9515 B) 1.40 30.3364 C) 1.50 28.1253
9. Qual dessas amostra, mais se aproximou da normal?

Amostra (C)

Esta atividade foi baseada num trabalho do prof. David M. Harrison, hospedado no site: <<https://www.casadasciencias.org/recurso/5744>>, acessado em 05/02/2024.

5.0.2.1 Princípio de Fermat para a Refração

A atividade (4.6.3) foi trabalhada com turma do 2ºC, devido a quantidade de aulas disponível para essa, pois trabalhamos os itinerários formativos com as eletivas Soluções ótimas e Criatividade na Era Digital.

Conclusão

Acreditamos que a aplicação desta proposta de trabalho foi positiva, pois observamos várias vantagens durante e após a execução do produto educacional. Os experimentos virtuais foram utilizados de duas maneiras: na sala de informática, onde os alunos puderam interagir diretamente com as simulações, e como demonstrações investigativas, que permitiram uma análise mais aprofundada dos fenômenos estudados. Em ambas as abordagens, notamos que os alunos se engajaram ativamente no processo de aprendizagem, desenvolvendo habilidades importantes, como a tomada de decisão e a compreensão dos conceitos científicos.

Quando o ambiente foi utilizado como um laboratório virtual, percebemos um engajamento ainda mais intenso por parte dos estudantes. Nesse contexto, o aluno atuou como o principal agente de sua aprendizagem, enfrentando desafios ao manipular os experimentos e tentando compreender os próximos passos a serem executados. Esses desafios foram essenciais para que os estudantes aprendessem a tomar decisões por conta própria, corretas ou não, e compreendessem que a ciência é construída de forma gradual, exigindo dedicação para alcançar os objetivos.

Além disso, os alunos passaram a reconhecer a existência de outras planilhas eletrônicas, como o LibreOffice Calc. O uso dessas ferramentas permitiu que os estudantes aplicassem diretamente os dados coletados durante os experimentos na construção de gráficos, ressaltando a importância de organizar os dados corretamente. Essa experiência também lhes proporcionou uma compreensão mais eficaz das informações apresentadas nos gráficos, fortalecendo suas habilidades analíticas.

Focando na aplicação prática do produto educacional aos estudantes do primeiro ano A, que utilizaram a metodologia investigativa conjuntamente com a disciplina de Investigação Científica, durante o experimento no ambiente virtual, os estudantes inseriram valores na superfície do espelho e observaram a trajetória da luz, que partia de uma fonte luminosa e atingia um alvo específico. O experimento foi projetado para que os estudantes compreendessem o processo investigativo, analisando os dados, formulando hipóteses sobre o ponto de incidência, e verificando variáveis como os ângulos de incidência e reflexão, além do tempo que a luz percorre na trajetória.

Ao utilizarmos o produto educacional como recurso didático em sala de aula, empregando-o como uma ferramenta demonstrativa. Associamos atividades investigativas a situações-problema, que foram resolvidas pelos alunos durante as simulações no ambiente virtual. Essa abordagem teve a intenção de verificar o entendimento dos alunos e de avaliar suas respostas às questões propostas.

Referências

- ALMEIDA, V.; CRUZ, C. A.; SOAVE, P. A. Concepções alternativas em óptica. *Textos de Apoio ao Professor de Física 18 (2)*, 2007. Citado na página 37.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia Educacional*, 2ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- ÁVILA, G. S. Cálculo das funções de uma variável. v. 1. *Grupo Gen-Editora LTC*, Rio de Janeiro, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 88 e 125.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. ensino de ciências: Unindo a pesquisa e a prática. *CARVALHO, A. M. P. de (Org.). Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. São Paulo: THOMSON, 2006. Citado na página 35.
- AZEVEDO, R. L. de. Utilização de organizadores prévios para aprendizagem significativa do magnetismo e do eletromagnetismo. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2010. Citado na página 33.
- CARVALHO, A. d. et al. Calor e temperatura: um ensino por investigação. *São Paulo: Editora Livraria da Física*, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 35, 47 e 93.
- CARVALHO, A. M. P. d.; SASSERON, L. H. Ensino de física por investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas. *Ensino em Re-vista*, v. 22, n. 2, p. 249–266, 2015. Citado na página 34.
- CARVALHO, A. M. P. d. o. *Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula*. [S.l.]: Editora Cenegage Learning, 2013. Citado na página 28.
- CHABAY, R. W.; SHERWOOD, B. A. *Matter and Interactions, Volume 2: Electric and Magnetic Interactions*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2018. Citado na página 40.
- COLBURN, A. An inquiry primer. *Science scope*, NSTA, v. 23, n. 6, p. 42–44, 2000. Citado na página 35.
- COURROL, L. C.; PRETO, A. O. *Óptica geométrica*. [S.l.]: SciELO-Editora Fap-Unifesp, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 53.
- FERMAT, P. D. *Oeuvres de Fermat*. [S.l.]: Gauthier-Villars, 1894. v. 2. Citado 3 vezes nas páginas 16, 68 e 69.
- FILHO, P. J. de F. *Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena*. [S.l.]: Visual Books, 2001. Citado na página 32.
- GADDIS, B. Learning in a virtual lab: Distance education and computer simulations. *Doctotal Dissrtation. University of Colorado*, 2000. Citado na página 32.
- GASPAR, A. *Física 2, Ondas, Ópticas e termodinâmica*. [S.l.]: Editora Ática, 2012. v. 2. Citado na página 38.

- HECHT, E. *Optica, 2ed.* Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. Citado 3 vezes nas páginas 15, 59 e 67.
- HOUAISS, A.; VILLAR, M. d. S.; FRANCO, F. M. d. M. Dicionário houaiss da língua portuguesa. In: *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. [S.l.: s.n.], 2001. p. lxxiii–2922. Citado na página 66.
- KATZ, D. M. *Physics for Scientists and Engineers: Foundations and Connections*. [S.l.]: Cengage, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 38.
- LEDERMAN, N. G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of research in science teaching*, Wiley Online Library, v. 29, n. 4, p. 331–359, 1992. Citado na página 34.
- MACLSAAC, D. • *GlowScript Applets by Bruce Sherwood and other Matter and Interactions Resources* www.glowscript.org/#/user/Bruce_Sherwood/folder/MI/matterandinteractions.org. [S.l.]: American Association of Physics Teachers, 2013. Citado na página 47.
- MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. d. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 24, p. 77–86, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- MOREIRA, M. Aula inaugural do programa de pós-graduação em ensino de ciências naturais da universidade federal do mato grosso. *O que é afinal aprendizagem significativa*, 2010. Citado na página 31.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa*. Brasília: Editora UnB, 1999. Citado na página 32.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 43, 2021. Citado na página 31.
- MOREIRA, M. A.; LEVANDOWSKI, C. E. *Diferentes abordagens ao ensino de laboratório*. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983. Citado na página 35.
- MORIN, E. *Os setes saberes necessários à educação do futuro*. [S.l.]: Cortez Editora, 2014. Citado na página 27.
- NEWTON, I. *óptica*. [S.l.]: Edusp, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 66.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica: Ótica, Relatividade, Física Quântica (vol. 4)*. São Paulo: Editora Blucher, 2014. Citado na página 43.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. A aprendizagem e o ensino de ciências. *Porto Alegre: Artmed*, 2009. Citado na página 29.
- RIBEIRO, R. J.; SILVA, S. d. C. R. d.; KOSCIANSKI, A. Organizadores prévios para aprendizagem significativa em física: o formato curta de animação. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, SciELO Brasil, v. 14, p. 167–183, 2012. Citado na página 33.
- RIBEIRO, R. M. et al. An evanescent-coupling plastic optical fibre refractometer and absorptionmeter based on surface light scattering. *Sensors and Actuators A: Physical*, Elsevier, v. 101, n. 1-2, p. 69–76, 2002. Citado na página 42.

- SENETA, E. Pierre de fermat: b. 17 august 1601 d. 12 january 1665. In: *Statisticians of the Centuries*. [S.l.]: Springer, 2001. p. 11–13. Citado na página 42.
- SILVA, R. A. M. da et al. Lei de snell-descartes–índice de refração do acrílico com variação dos ângulos de incidência. Citado na página 68.
- THORNTON, S. T.; MARION, J. B. *Dinâmica clássica de partículas e sistemas*. [S.l.]: Cengage Learning, 2011. Citado na página 44.
- VALENTE, J. A. Informática na educação: confrontar ou transformar a escola. *Perspectiva*, v. 13, n. 24, p. 41–49, 1995. Citado na página 32.
- VYGOTSKI, L. S. A formação social da mente. *Psicologia*, v. 153, p. V631, 1989. Citado na página 31.
- ZACHARIA, Z. C.; CONSTANTINOU, C. P. Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the physics by inquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 76, n. 4, p. 425–430, 2008. Citado na página 28.

Apêndices

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL



Valter de Assis Dantas

Orientador: Prof. Dr. Adauto José Ferreira de Souza
coorientador: Prof. Dra. Énery Gislayne de Sousa Melo

Apresentação

Este Produto Educacional é destinado principalmente aos docentes que tenham interesse em usa-lo como recurso diatático para dinamizar, otimizar as aulas de Física em Particular a Óptica Geométrica. Consiste em uma sequência didática, composta por um conjunto de aulas a serem apresentadas na plataforma GlowScript. Além disso, o Produto Educacional introduz o leitor à linguagem de programação Python e ao ambiente GlowScript. O objetivo é fornecer um ambiente interativo que engaje os estudantes do Ensino Médio em uma aprendizagem ativa de Física. Enfatizamos a associação entre a sala de aula e o uso de computadores como um recurso enriquecedor e potencializador no processo de ensino e aprendizagem. O ambiente GlowScript permite o desenvolvimento de múltiplas funções diretamente no navegador, com o uso do módulo Vpython para criar e manipular figuras/objetos tridimensionais de maneira simples, além de traçar gráficos de funções e desenhar curvas. Isso possibilita criar animações de fenômenos físicos a partir da solução das equações básicas que governam a evolução temporal das grandezas que descrevem o comportamento do sistema. O código desenvolvido foi pensado para permitir que o usuário interaja com a simulação, modificando os parâmetros, as condições iniciais, ou até mesmo reescrevendo-o, as simulações foram desenvolvidas com a intenção de aproximá-las ao máximo de um laboratório físico, propondo situações-problema de maneira investigativa que despertem o interesse dos estudantes por uma aprendizagem significativa. Propomos duas modalidades de uso: como ferramenta de aprendizagem por

investigação ao sugerir que o aluno deve adquirir suas próprias certezas e conhecimentos através de um processo investigativo, no os alunos deve levar as hipóteses para resolver a situação-problema proposta; e como demonstrações investigativas, associadas a uma atividade guiada.

A.1 Sequência Didática

A.1.1 Reflexão da Luz

É preciso formar o estudante para que ele seja capaz de conhecer os conteúdos curriculares e reconhecê-los em seu cotidiano, construir novos conhecimentos a partir de sua vivência e utilizá-los em situações com as quais possam se defrontar ao longo de sua vida. A experimentação no ensino da Física, tem como finalidade motivar o estudante a desenvolver expectativas de como vai ocorrer o experimento e que respostas ele vai obter nesse experimento. Optamos por uma sequência Didática usando uma simulação que descreva o comportamento da luz em superfícies refletoras como também em superfícies refratadas.

Como assinala Bachelard (1938) "todo conhecimento é a resposta de uma questão"

ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Introdução à Óptica Geométrica

A óptica Geométrica estuda o comportamento da luz em termos de raios luminosos. Compreender as diferentes formas de sua propagação para entender alguns fenômenos físico relativos a luz tais como: a formação de eclipse lunar ou solar, a formação de imagens na reflexão e na refração, etc.

OBJETIVOS

- Desenvolver uma simulação computacional como material didático para o ensino da Óptica Geométrica
- Aplicar os conceitos da óptica geométrica
- Raio de Luz
- Feixe de Luz
- Propagação Retilínea dos Raios de Luz
- Independência dos Raios de Luz
- Reversibilidade dos Raios de Luz

- Reflexão da luz em superfície refletora.
- Princípio de Fermat
- Refração da luz

CONTEÚDOS

- Propagação Retilínea da Luz
- Independência dos Raios de Luz
- Reversibilidade dos Raios de Luz
- Índice de refração

PROPOSTAS DAS ATIVIDADES

- Exposição oral dialogada: conceitos da óptica Geométrica
- Mostra a diferença entre sombra e penumbra
- Uso da plataforma GlowScript para mostrar os princípios fundamentais da óptica Geométrica

FORMAS DE AVALIAÇÃO

- Observações efetuadas durante o experimento virtual da reflexão da luz numa superfície espelhada, bem como as discussões e exposições verbais que reflitam o entendimento dos participantes, relacionadas aos conhecimentos sobre a reflexão da luz e fundamentadas no princípio de Fermat.

A.1.2 Texto de Apoio

OBS: LEIA COM ATENÇÃO O TEXTO A SEGUIR E RESPONDA AS QUESTÕES PROPOSTAS.

A.1.2.1 Atividade de Física

Justificativa

Discutir sucintamente sobre a natureza da luz, analisar sua propagação nos meios materiais. Analisar comportamento dos raios luminosos na interfase de uma superfície refletora.

A.1.2.2 Objetivos

Entender a descrição geométrica da propagação da luz (através de raios), e o **princípio de Fermat**.

A.1.2.3 Desenvolvimento

O ramo da óptica que utiliza os raios para descrever a propagação da luz denomina-se **óptica geométrica**. Ela se caracteriza pela simplicidade matemática e é capaz de descrever vários (mas não todos) os efeitos ópticos. A óptica geométrica é baseada em três princípios.

- **Propagação Retilínea da Luz:** Em um meio homogêneo e transparente a luz se propaga em linha reta. Cada uma dessas "retas de luz" é chamada de raio de luz.
- **Independência dos Raios de Luz:** quando dois raios de luz se cruzam, um não interfere na trajetória do outro, cada um se comportando como se o outro, não existisse
- **Reversibilidade dos Raios de Luz:** se o sentido de propagação de um raio

de luz é revertido, ele continua a percorrer a mesma trajetória, em sentido contrário.

Todos os três princípios podem ser derivados a partir do Princípio de Fermat, de Pierre de Fermat, que diz que quando a luz percorre a distância de um ponto a outro, ela segue a trajetória que minimiza o tempo do percurso.

A óptica geométrica se aplica ao estudo do fenômeno da reflexão e refração luminosa, sendo frequentemente utilizada na área de análise dos espelhos e lentes. Por outro lado, ela não pode ser aplicada para explicar interferência e difração, por exemplo.

A.1.2.4 Reflexão da luz

Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície plana, regular e bem polida, um espelho por exemplo, o feixe de luz retorna ao mesmo ambiente de forma ordenada.

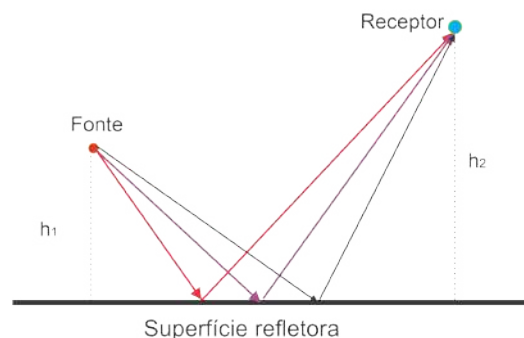


Figura 49 – Reflexão

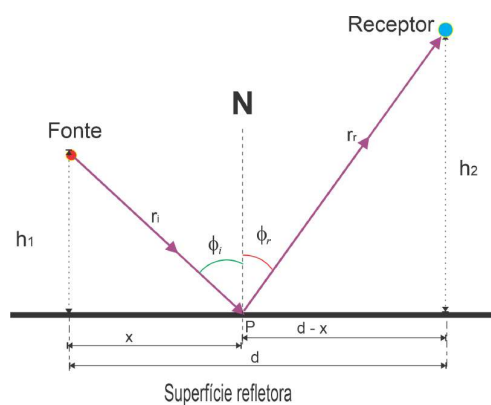


Figura 50 – Reflexão

A.1.2.5 Atividade:

Estudante: _____

Turma: 2º _____

1. Observando as figuras 1 e 2, qual a leitura que você faz entre elas ?
2. No texto qual o ramo da óptica que utiliza os raios para descrever a propagação da luz?
3. No texto como você descreve o princípio de Fermat?
4. O Que você entende por independência dos raios de luz?
5. Que você entendeu sobre a reflexão da luz?

A.1.3 Princípio de Fermat Para a Reflexão

A.1.3.1 Experimento da Turma 1A

Esse o experimento foi trabalho juntamente com a disciplina Investigação Científica, atendendo as Habilidades relacionadas às Competências Gerais da BNCC.

(EMIFCG01) Identificar, selecionar, processar e analisar dados, fatos e evidências com curiosidade, atenção, criticidade e ética, inclusive utilizando o apoio de tecnologias digitais.

A atividade teve como premissa por em pratica as etapas do método científico, o qual estudamos e debatemos em aulas teorias e leitura de textos sobre Investigação Científica a qual podemos sintetiza; Observação, Questionamento, Hipóteses, Experimentação, Análise dos Resultados e Conclusão. Na atividade começamos com a experimentação, onde seria observado o comportamento de um raio luz ao ser incidido sobre uma superfície refletora (espelho). Nossa intensão é colocar o estudante como agente ativo no processo de aprendizagem, usando as simulações computacionais

A.1.3.1.1 Procedimentos

1. acessar a plataforma GlowScript: <<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/04Reflexao-01>>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
2. clicar em "CLICAR PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"
3. Escolher uma medida entre 0.2 e 2.9 m (posição no espelho (de 3 metros de comprimento), para que o raio de luz incida nele)
4. Preencher a tabela 6 da coleta de dados.
5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.) em vez de vírgula (,)"

EREM José Mariano				
Professor:	Valter de Assis Dantas	Disciplina:	Física	DATA
Estudante		Estudante		
Ordem	Ângulo de Incidência ($^{\circ}$)(ϕ_i)	Ângulo de Reflexão ($^{\circ}$)(ϕ_r)	Ponto de incidência (m)	Tempo (ns) $n = 10^{-9}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

Tabela 6 – Coleta de Dados Para a Simulação da lei da Reflexão

A.1.3.2 Experimento Turma 2C

A.1.3.2.1 Procedimentos

1. acessar a plataforma GlowScript: <<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/04Reflexao-01>>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
2. clicar em "CLICAR PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"
3. Escolher uma medida entre 0.1 e 2.9 m (posição no espelho (de 3 metros de comprimento), para que o raio de luz incida nele)
4. Preencher a tabela (6) da coleta de dados.
5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.)" em vez de vírgula (,)"

A turma do 2C preencheu a tabela (6) coletando os dados do experimento virtual conforme orientação, após a coleta dos dados a turma foi orientado a usar as planilhas eletrônicas do Excel ou LibreOffice Calc, a depender qual planilha estava instalada no computador.

A.1.3.3 Experimento Turma 2B

A.1.3.4 Procedimentos

A utilização da simulação computacional tem um potencial de gerar resultados na aprendizagem mais significativa, uma vez que os estudantes estão efetivamente envolvidos e fornece um "*feedback*" rápido, pois estão focado no fenômeno, evitando assim abstrações desnecessárias ou precoce .

A aplicação dessa sequência didática teve como base a aprendizagem significativa, no qual foi valorizado os conhecimentos prévios produzidos nas aulas tradicionais sobre a óptica geométrica em particular o princípio de Fermat.

1. acessar a plataforma GlowScript: <<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/04Reflexao-01>>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
2. clicar em "CLICAR PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"
3. Escolher uma medida entre 0.1 e 2.9 m (posição no espelho (de 3 metros de comprimento), para que o raio de luz incida nele)
4. Preencher a tabela 6 da coleta de dados.
5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.) em vez de vírgula (,)"

A.1.4 Princípios da Óptica Geométrica

A.1.4.1 Propagação Retilínea da luz

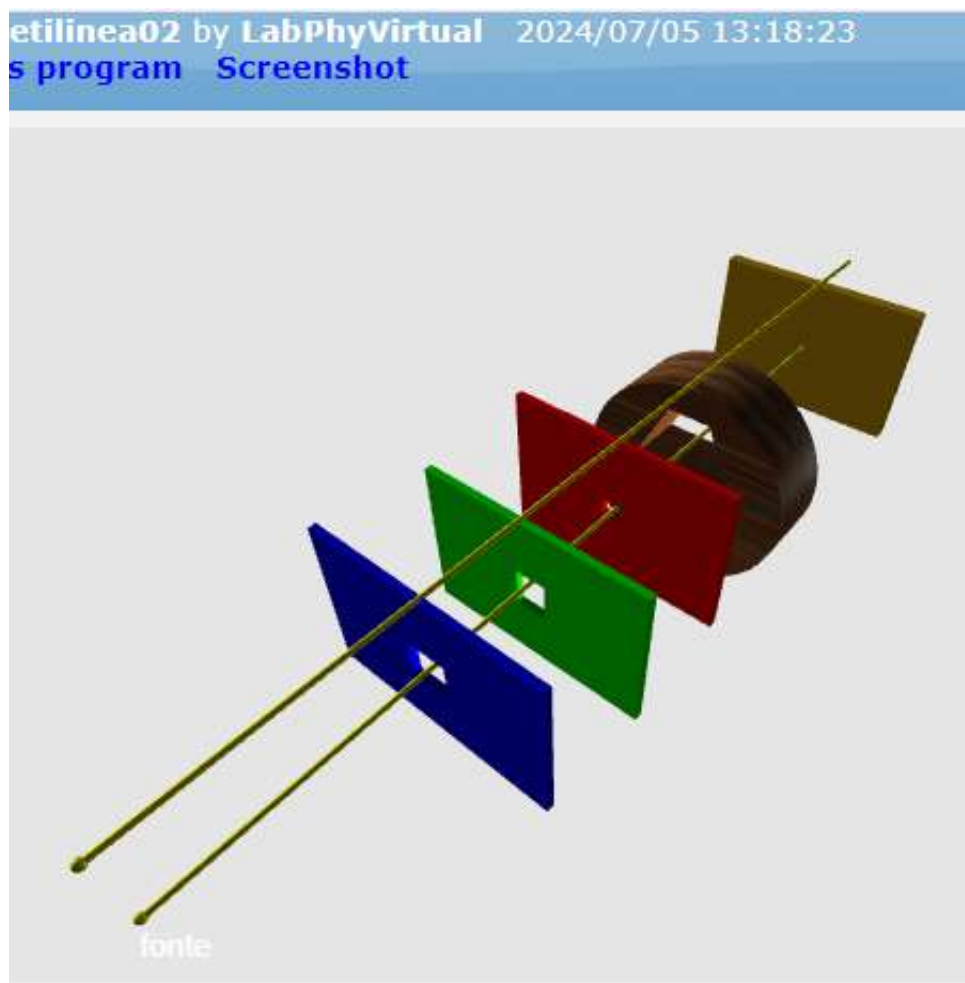


Figura 51 – Propagação Retilínea da Luz
fonte o autor no GlowScript

link para acessar a simulação do princípio da Propagação Retilínea da luz atravessando vários objetos, como mostrado na figura (51) <<https://bit.ly/01propRetilinea02>>

A.1.4.2 Independência dos Raios de Luz

figura(52) link para acessar a simulação da Independência dos raios de luz <<https://bit.ly/3zw7GV9>>

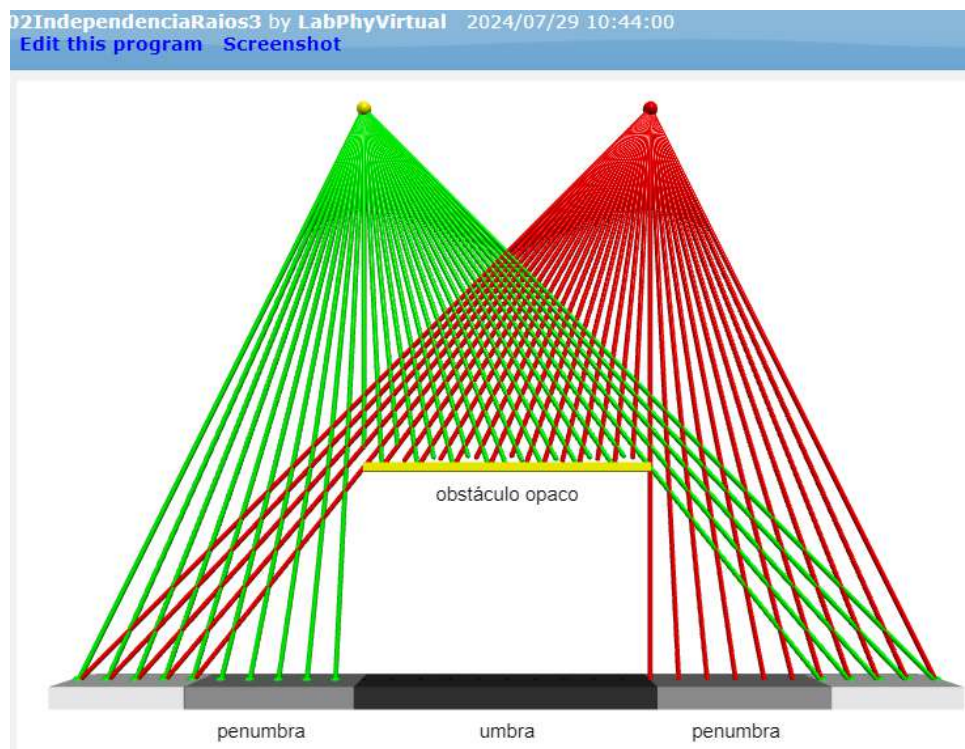


Figura 52 – Independência dos Raios, umbra e penumbra
fonte o autor no GlowScript

A.1.4.3 Princípio da reversibilidade dos Raios de Luz

figura(53) Link para acessar a simulação da reversibilidade dos Raios de Luz
<<https://bit.ly/03ReversibilidadeRaios>>

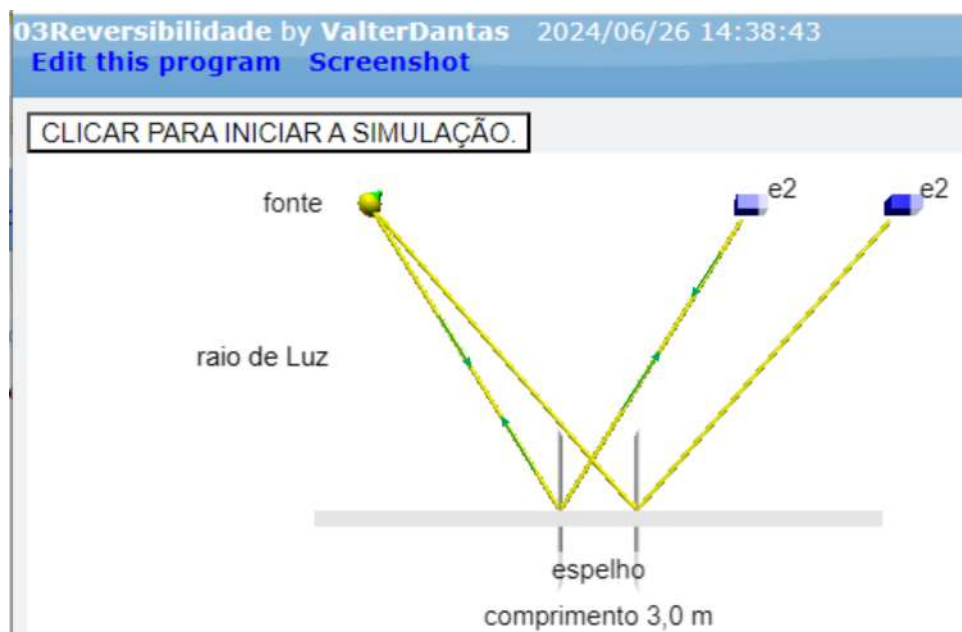


Figura 53 – Reversibilidade dos Raios de Luz
fonte o autor no GlowScript

A.1.5 Formação da Imagem por reflexão

As figuras (54) e (55) poderá ser visualizada pelo Link da simulação <<https://bit.ly/imagemponto>>

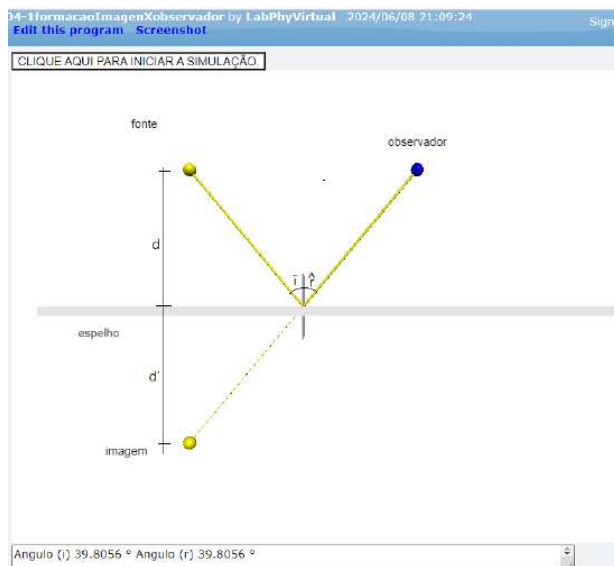


Figura 54 – Formação da Imagem no Espelho plano
fonte o autor no GlowScript

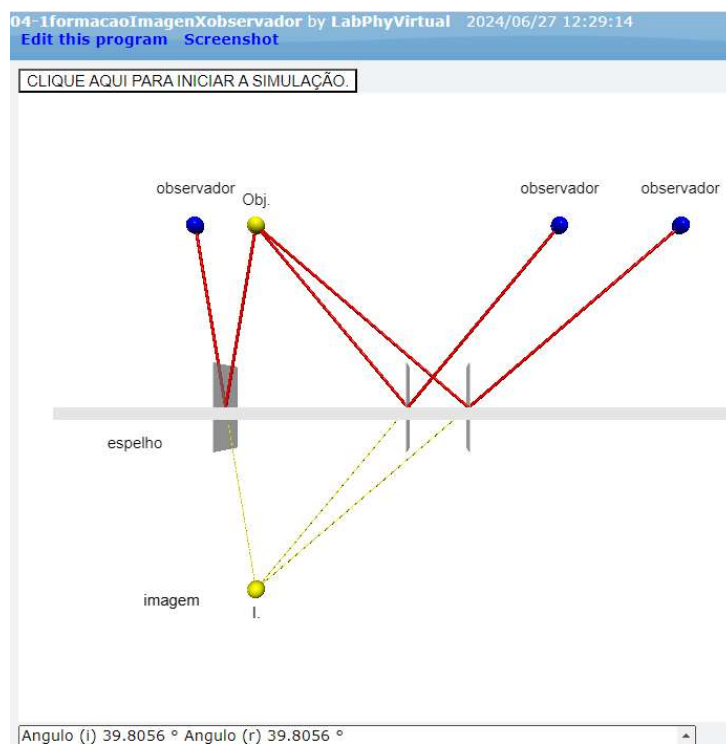


Figura 55 – Formação da Imagem no Espelho plano e o observador
fonte o autor no GlowScript

A.1.5.1 Formação da Imagem Ponto a Ponto

A figura (56) mostra a simulação como se processo em nossos olhos, com a percepção que os raios proveniente do objeto saem de dentro do espelho. link de acesso: (<<https://bit.ly/3y4yWK5>>).

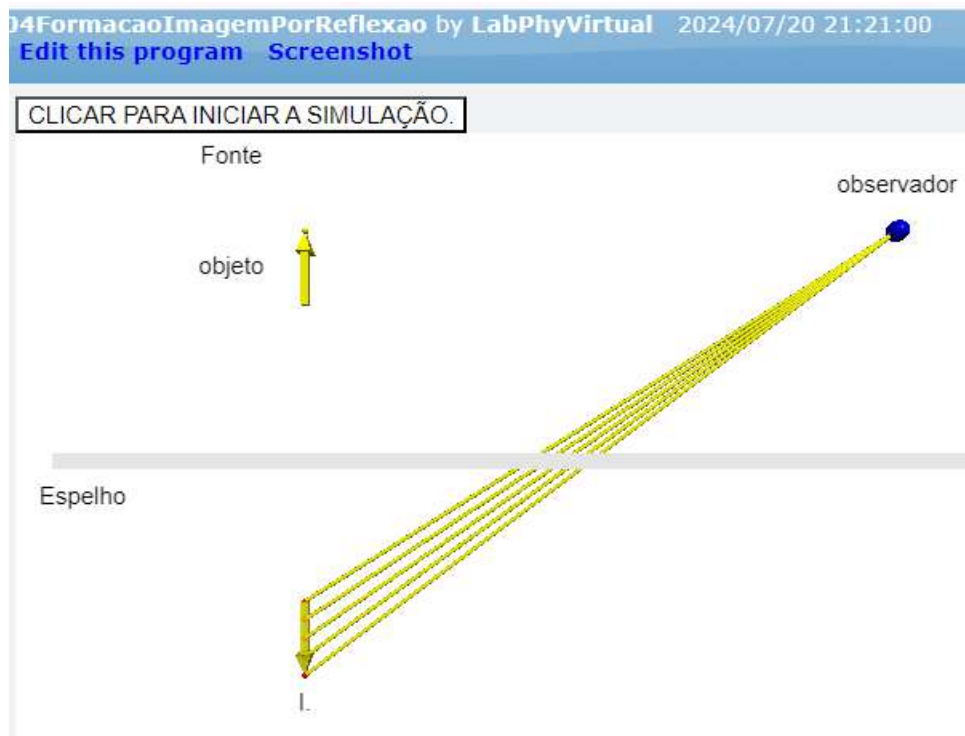


Figura 56 – Formação da Imagem com a emissão de cinco raios de luz emitidos do objeto ao Espelho plano, os raios luminosos são captados pelos nossos olhos parece provir de um ponto atrás do espelho. É nesse ponto que a imagem da seta é formada.

fonte o autor no GlowScript

A.1.5.2 Campo de Visão de um espelho plano

(<https://bit.ly/campovisao>).



Figura 57 – Campo de Visão do Observador.
fonte o autor no GlowScript

A.1.6 Refração da Luz

A.1.6.1 Atividade 01

A refração é a passagem da luz de um meio para outro. Nesta passagem, a luz pode sofrer um desvio em sua trajetória. Este desvio ocorre porque a luz, ao passar de um meio para o outro, propaga-se com velocidades diferentes.

Você se lembra que a velocidade da luz é igual a c (300.000.000 m/s) no vácuo. Com essa velocidade, a luz é capaz de dar 7 voltas e meia ao redor da Terra em um segundo. Entretanto, a luz tem velocidade menor que c em qualquer outro meio, devido à maior densidade desses meios.

O índice de refração é uma medida de quanto a luz é retardada em um meio em comparação ao vácuo. Por exemplo, quando a luz passa do ar para a água, ela desacelera, fazendo com que sua trajetória se desvie. Isso explica por que um objeto submerso na água parece estar em uma posição diferente de onde realmente está.

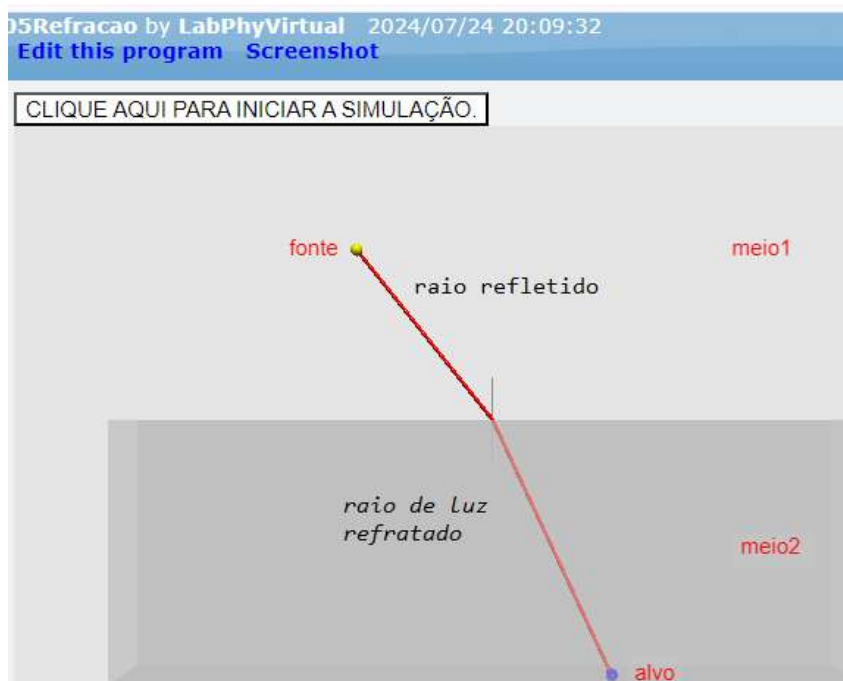


Figura 58 – Refração da luz
Fonte: o autor no GlowScript

1. No texto a letra ' c ' em **negrito** representa que grandeza física?

_____ item

O n_2 , figura 58 representa o índice de refração, que é uma relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz no meio (v).

Sendo assim o valor numérico de

$$n_2 = \frac{c}{v} \quad (\text{A.1})$$

Então, vamos calcular o valor de n_2 , onde a velocidade da luz nesse meios seja 150.000.000 m/s

2. Observe o pescador na figura 59. Tentando pescar um peixe. Qual o princípio físico que tratar as duas imagens?

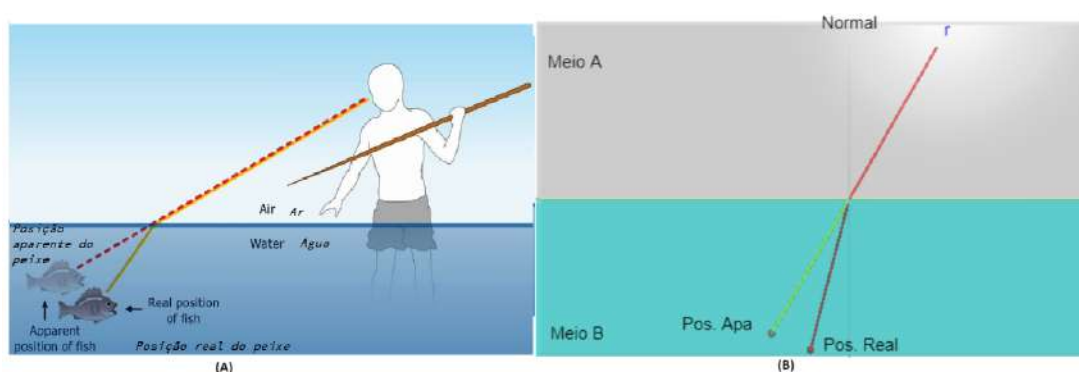


Figura 59 – Posição aparente do objeto: fonte: (A) fonte <<https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg>>, (B) o autor

3. (Adaptado do livro (ÁVILA, 2003) exemplo 5 capítulo 8). Um salva-vida em terra, no ponto A, no momento em que um banhista começa a se afogar num ponto B (figura 60).

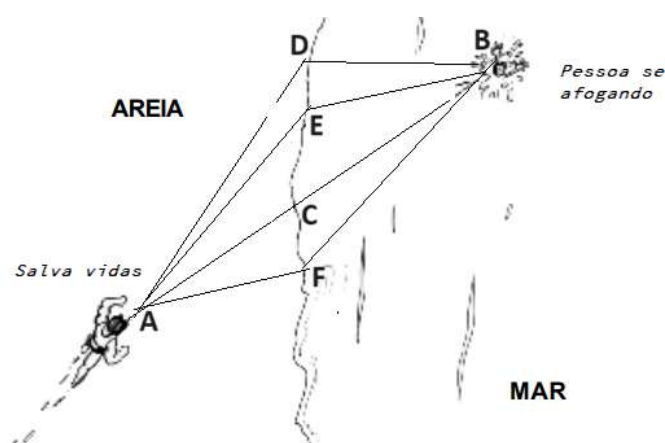


Figura 60 – Trajetória do salva-vidas
 fonte: adaptação <<https://azeheb.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/07/Refraction-light-1024x576.jpg>>

Qual a trajetória que o salva-vidas deve escolher dentre as alternativas abaixo para socorrer a vítima no menor tempo possível, de acordo com a figura (60)?

- a) AF e FB
- b) AC e CB
- c) AE e EB
- d) AD e DB

A.1.6.2 Atividade 02: Refração da luz

Estudante: _____ Turma: 2º _____

Situação-problema 1: Quando um raio de luz passa do ar (meio menos refringente) para a água (meio mais refringente) o que acontece com a direção de propagação da luz?

Para responder à situação-problema vamos acessar o laboratório virtual (LabPhyVirtual).

[<https://bit.ly/indiceRefracao>](https://bit.ly/indiceRefracao)

Vamos seguir algumas orientações:

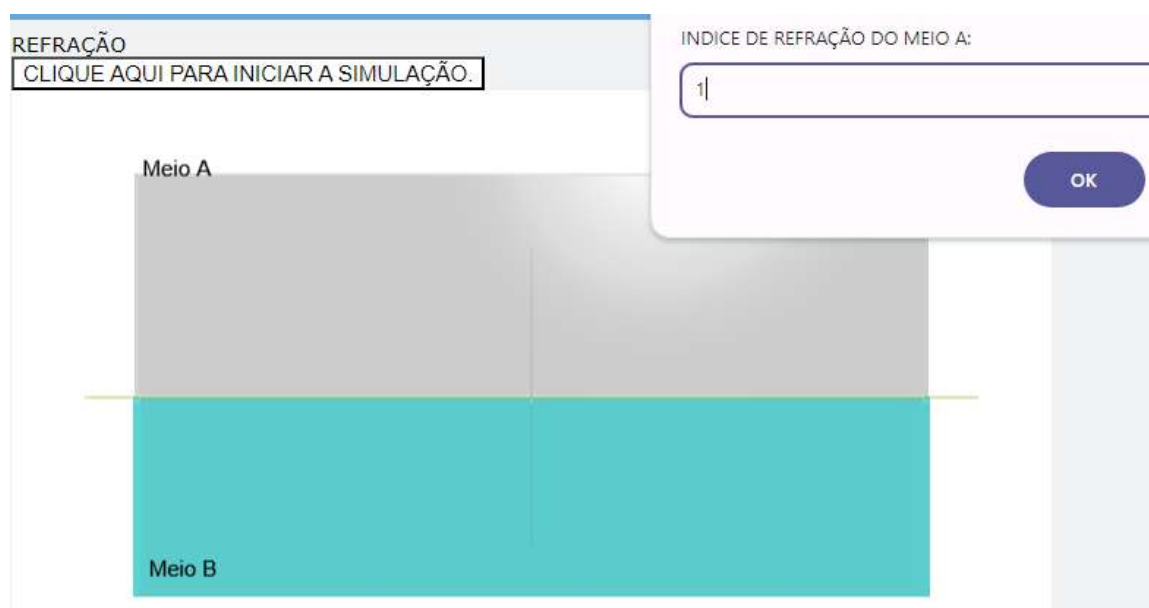


Figura 61 – Ativ. Refração
fonte: o autor no GlowScrit

Para iniciar a simulação vamos usar para o índice de refração do meio A (o ar), 1.00 confirme com "OK", para o meio B (a água), 1.33, e para o ângulo de incidência 60° . Clique novamente em "CLIQUE AQUI PARA INICIAR A SIMULAÇÃO". Agora vamos inverter os meios, para o meio A (agora o meio A vai ser a água) 1.33 e o meio B (o ar), 1.00; o ângulo de incidência, também 60° .

1. O que acontece com a direção de propagação da luz?
2. Identifique a normal à superfície de separação e os raios de incidente, refletido e refratado. (Observado na simulação), desenhe os raios na figura (61).
3. Defina:
 - a) ângulo de incidência _____

b) ângulo de refração: _____

4. Vamos agora fazer um experimento para determinar o índice de refração do meio refratado:

índice de refração do meio A (o ar), 1.00 (meio incidente)

Faça variar para cada simulação o ângulo de incidência, registre na tabela os respectivos ângulos de refração e os seus senos, assim como o quociente entre o seno de incidência e o seno da refração

Ângulo(θ_i)°	Ângulo(θ_r)°	seno (θ_i)	seno (θ_r)	quociente = $\frac{\sin(i)}{\sin(r)}$

Tabela 7 – Determinação do índice de refração do material

5. Compare os ângulos de incidência com os ângulos de refração.
6. Qual a relação que você observa no quociente entre o seno de incidência e o seno da refração?
7. Quando o feixe passa de um meio menos refringente para um meio mais refringente, o ângulo de refração _____ (**maior do que o / igual ao / menor do que o**) de incidência: o feixe _____ (**aproxima-se / não se afasta nem se aproxima / afasta-se**) da normal.
Se o ângulo de incidência for de 0°, a luz refrata-se _____ (**e sofre / mas não sofre**) desvio.
8. Em inspeção as postos de gasolina, foi separadas três amostras com os respectivos índices de refração: amostra A = 1.30, amostra B = 1.40 e amostra B = 1.50, o experimento foi feito com um ângulo de incidência de 45°. Registre seus respectivos ângulos de Refração.
A) 1.30 (θ_r) _____° B) 1.40 (θ_r) _____° C) 1.50 (θ_r) _____°
9. Qual dessas amostra, mais se aproximou da normal? _____

Esta atividade foi baseada num trabalho do prof. David M. Harrison, hospedado no site: <<https://www.casadasciencias.org/recurso/5744>>, acessado em 05/02/2024.

A.1.6.3 Reflexão Interna Total

A simulação pode ser usada durante a aula com a finalidade de mostrar o comportamento da luz quando passa de um meio mais refringente para o meio menos refringente. Vejamos uma simulação através do link

[<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/05Refracao\(Limite\)>](https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/05Refracao(Limite)) para a Reflexão total dos Raios de Luz, figura (62).

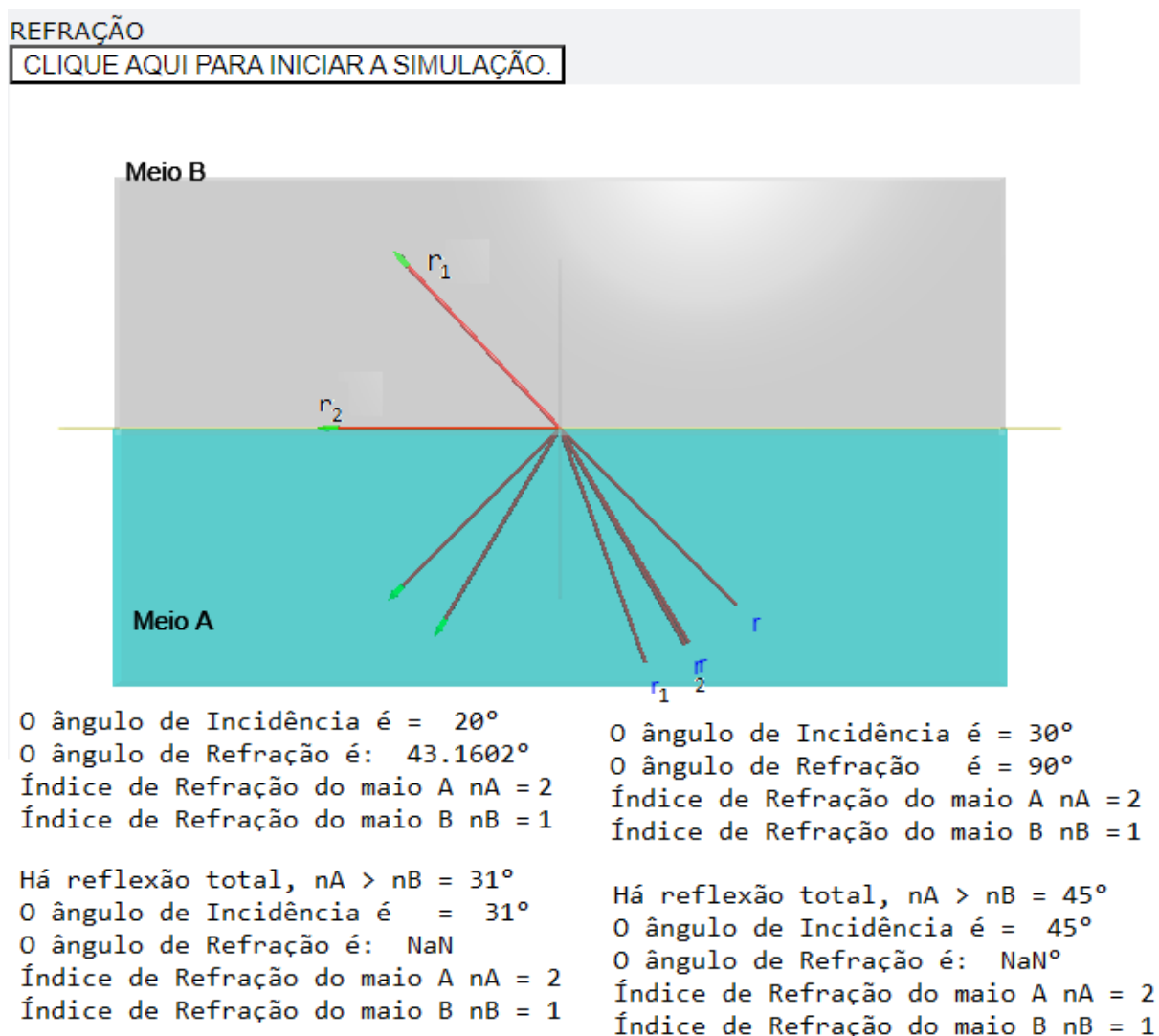


Figura 62 – Reflexão interna total
fonte: o autor no GlowScri

A.1.6.4 Aplicações da Refração nas Comunicações (Fibra Óptica)

Outra simulação para verificar a aplicação da reflexão interna total numa fibra óptica. link de acesso ao simulação da fibra óptica <<https://www.glowscript.org/#/user/LabPhyVirtual/folder/OpticaGeometrica/program/FIBRAOPTICA>>

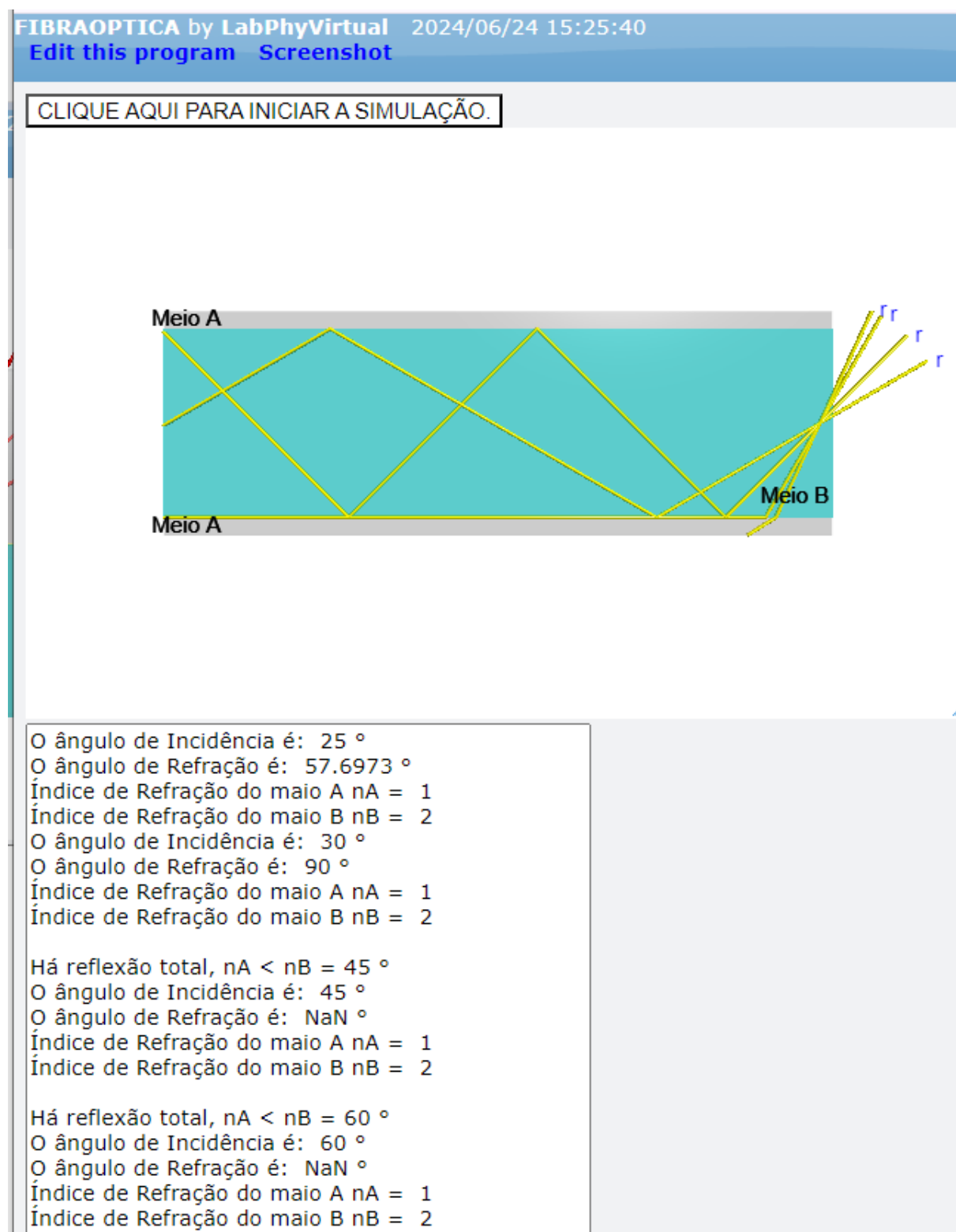


Figura 63 – Fibra Óptica
 fonte: o autor no GlowScrip

A.1.7 Princípio de Fermat para a Refração

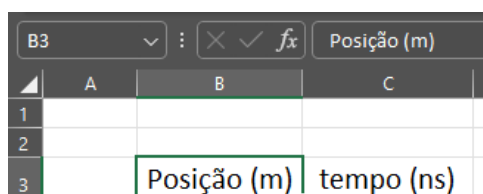
O objetivo dessa simulação é verificar como se comporta a refração da luz, isto é, o desvio sofrido pela luz ao atravessar uma superfície de separação entre dois meios de propriedades diferentes. Para esse procedimento vamos acessar o laboratório virtual, **LaphyVirtual**, acessando o link: <https://bit.ly/3yr3gi7>

A.1.7.1 Procedimentos

1. Acessar a plataforma GlowScript: <https://bit.ly/3yr3gi7>. Para otimizar o experimento, colocamos na área de trabalho de cada computador disponível para o experimento, o ícone do experimento.
2. Clicar em "CLIQUE AQUI PARA INICIAR A SIMULAÇÃO"
3. Escolher uma medida entre 0 e 3 m (posição na superfície entre os dois meios, ponto de incidência, para incidir o raio de luz e atinja o alvo).
4. Preencher a tabela (8) com a coleta de dados na simulação.
5. Ao digitar o valor decimal, use o "ponto (.)" em vez de vírgula (,)"
6. Objetivo: Determinar o menor tempo da trajetória do raio de luz até atingir o alvo.
7. Analisar os dados referente ao menor tempo, os ângulos de incidência e de refração.

A.1.7.2 Construção do Gráfico

1. Transcreva os dados coleta para uma planilha do Excel ou LibreOffice Calc.



	A	B	C
1		Posição (m)	
2			
3		Posição (m)	tempo (ns)

Figura 64 – Planilha do Excel

Fonte: o autor

2. Selecione a coluna da posição e coloque em ordem crescente para fazer o gráfico.

EREM José Mariano				
Professor:	Valter de Assis Dantas	Disciplina:	Física	DATA
Estudante		Estudante		
Ordem	Ponto de incidência (m)	Tempo (ns)	incidência $n_1 \cdot \sin(\theta_i)$	refração $n_2 \cdot \sin(\theta_r)$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

Tabela 8 – Coleta de dados da simulação para a refração da luz, no meio incidente, de índice de refração $n_1 = 1$ e o meio refratado, com índice de refração $n_2 = 2$

Construção dos Gráficos na planilha eletrônica Excel

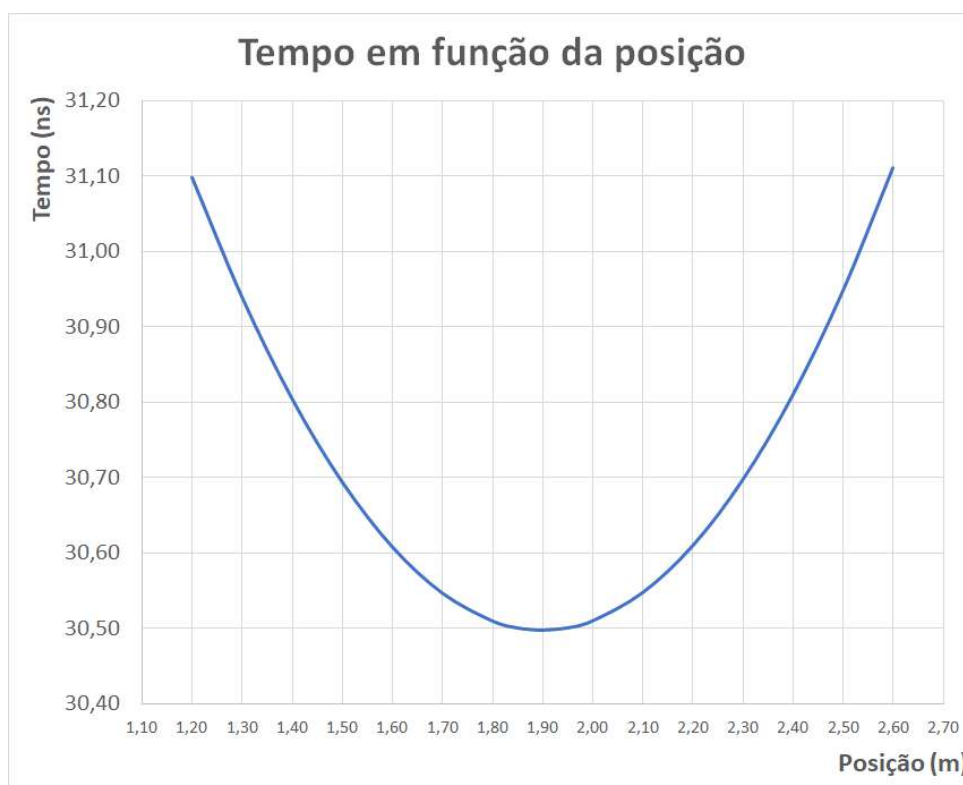


Figura 65 – Refração: Tempo em função do ponto de incidência
Fonte: o autor

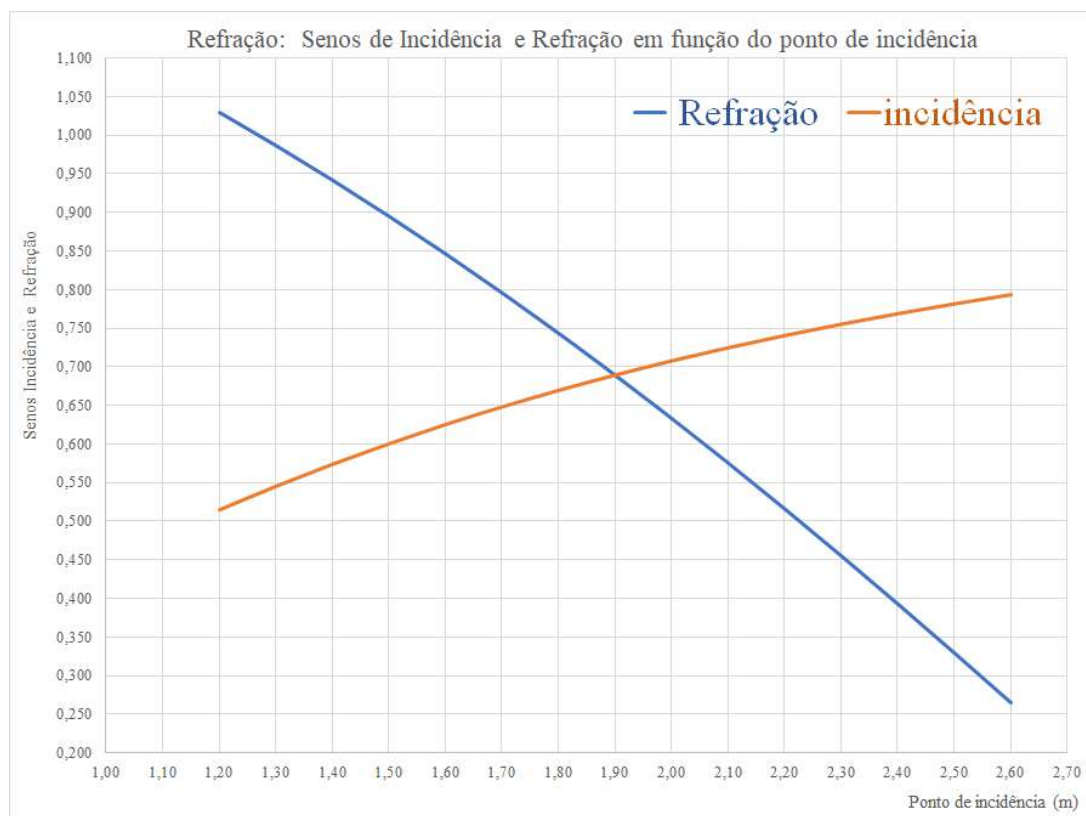


Figura 66 – Refração: senos, de incidência e refração em função do ponto de incidência
Fonte: o autor

Anexos

O GlowScript

Do Python ao GlowScript

Python é uma linguagem de programação de alto nível criada por Guido van Rossum, nascido na Holanda em 1956, e lançada pela primeira vez em 1991. O objetivo principal de van Rossum ao criar Python era desenvolver uma linguagem que fosse fácil de aprender e usar, especialmente para pessoas que não são programadores profissionais, como físicos, médicos, entre outros profissionais. O nome "Python" foi inspirado no grupo humorístico britânico Monty Python, e não na cobra píton.

Python se destaca por sua simplicidade e legibilidade, permitindo que os programadores escrevam código de maneira mais intuitiva e eficiente. Apesar de sua versatilidade em muitas áreas da programação, Python não foi inicialmente projetado para design gráfico. No entanto, ao longo dos anos, diversas bibliotecas e *frameworks* foram desenvolvidas para estender suas capacidades em áreas como desenvolvimento web, ciência de dados, inteligência artificial, automação, e até mesmo design gráfico e visualização de dados.

Em 1998, David Scherer entrou na universidade como calouro e se inscreveu em uma das aulas de física introdutórias que utilizava a linguagem de programação cT. Embora a cT oferecesse um ambiente de programação relativamente fácil para gráficos 2D, Scherer, com a ajuda de Steve Spicklemire, Ruth Chabay, Bruce Sherwood, Jonathan Brandmeyer, Matt Craig e John Coady, criou o Visual, um módulo para Python que permitia a criação de gráficos em 3D. Este módulo passou a ser chamado de VPython.

Em 2011, David Scherer e Bruce Sherwood iniciaram o desenvolvimento do GlowScript, um ambiente de programação baseado em navegador, inspirado no VPython clássico. O GlowScript permitia que os usuários escrevessem programas em VPython que poderiam ser executados diretamente em um navegador, eliminando a necessidade de instalação de software adicional no computador. Em 2015, com a introdução do compilador RapydScript, desenvolvido por Alex Tsepkov, tornou-se possível traduzir Python para JavaScript, permitindo que os programas VPython no GlowScript fossem executados em navegadores de forma eficiente e sem complicações.

fonte: <<https://brucesherwood.net/?p=87>>

O VPython é uma poderosa extensão para Python que permite realizar cálculos de álgebra vetorial, além de criar objetos e gráficos em 3D em cenas tridimensionais. Esta ferramenta é especialmente útil para estudantes e profissionais em áreas como física, engenharia e matemática, pois facilita a visualização e a manipulação de conceitos complexos em um ambiente visualmente intuitivo.

Com VPython, é possível criar e manipular diversos tipos de objetos tridimensionais,

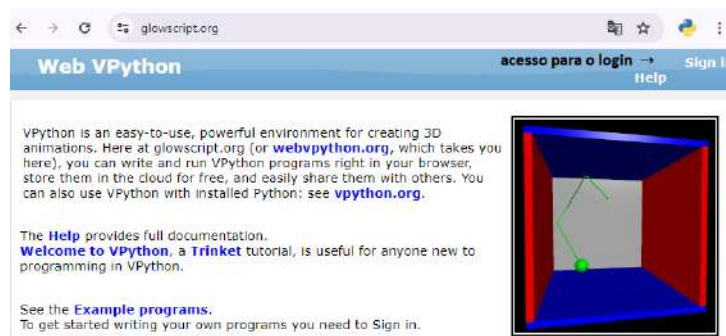
como esferas, caixas, cones e setas, além de visualizar movimentos e interações entre esses objetos em tempo real. A capacidade de realizar cálculos de álgebra vetorial integrada ao ambiente gráfico torna o VPython uma ferramenta poderosa para a educação e pesquisa, permitindo uma compreensão mais profunda e intuitiva de fenômenos físicos e matemáticos.

.1 GlowScript na Plataforma WEB

O objetivo deste anexo é fornecer ao usuário, de forma introdutória, as principais sintaxes da linguagem de programação Python e do módulo VPython na plataforma GlowScript.

Vamos iniciar uma sequência de passos para acessar a plataforma do GlowScript.

1. criar uma conta no Google, pois o GlowScript só é autenticada com sua conta do Google.
2. acessar a <https://www.glowscript.org/>



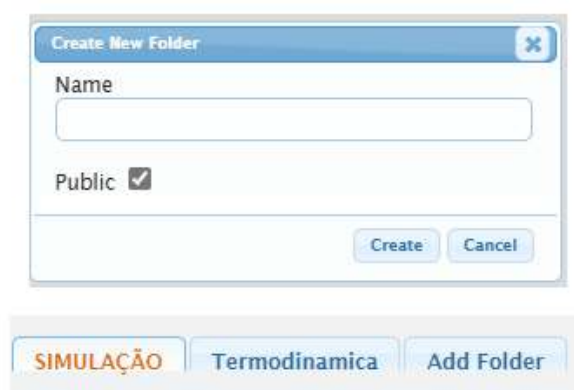
3. após o login você verá um link



clique no link para acessar o IDE (Integrated Development Environment) que no nosso idioma significa, ambiente de desenvolvimento integrado. .

4. Criando pastas e arquivos.

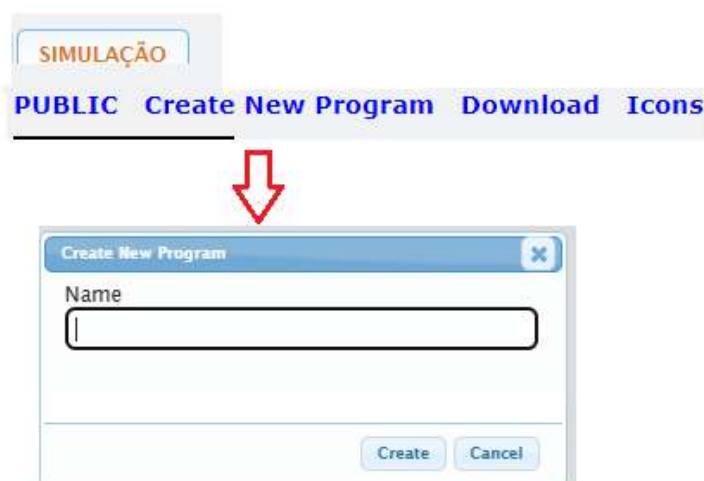
Depois de fazer login e seguir o link para seus programas, você estará no GlowScript IDE. Clique no add Folder guia para criar uma nova pasta. Uma janela pop-up aparece como mostrado abaixo.



Dependendo se você deseja compartilhar seu programa com outras pessoas, marque-o público ou privado, verificando ou desmarcando a caixa de seleção “ Público ”. Com o nome da pasta destacado laranja (mostrando que você está na pasta).

5. Criando novo Programas.

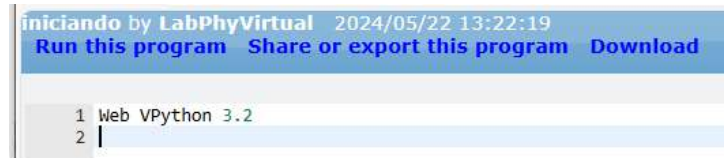
Na pasta criada anteriormente, clique em Create New Program (sugiro que mantenha a plataforma no idioma original, entretanto, você pode escolher o português) e nomeie o programa “ iniciando ” ou algo apropriado.



Nomeia o programa e clica em “Create”

6. INICIANDO UM PROGRAMA: DECLARAÇÕES DE CONFIGURAÇÃO

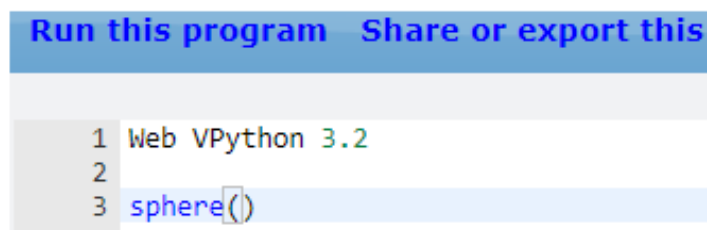
O console a aberto para inserir o código.



Todo programa GlowScript começa com esta instrução de configuração. Ele diz ao GlowScript que você está escrevendo o código VPython. O número da versão (3.2, em 2024), está incluído para garantir que os programas mais antigos continuem sendo executados sem erros, mesmo que o GlowScript seja atualizado para versões mais recentes.

7. CRIANDO UM OBJETO E CONTROLANDO A CENA

Como seu primeiro comando VPython, vamos fazer uma esfera. Pule uma linha para tornar seu código mais legível e, na linha 3, digite:



Observação: Toda a sintaxe (escrita) para a execução deve ser escrita no idioma inglês, e isso é válido para todas as linguagens de programação.

Aqui está a instrução para criar um objeto (uma esfera) no GlowScript.

Execute o programa clicando Execute (Run) este programa. O GlowScript sai do modo de edição e entra no modo de execução. Você deve ver uma esfera branca em um fundo preto, como mostrado abaixo. Isso é chamado de cena.



Por padrão, a esfera está no centro da cena e a câmera (seu ponto de visão) está olhando diretamente para o centro.

Se você estiver em um computador e tiver um mouse de dois botões, mantenha pressionados os dois botões do mouse e mova o mouse para frente e para trás para fazer a câmera se mover mais perto ou mais longe do centro da cena, ou use o scroll. Em um Mac, mantenha pressionada a tecla Option e o botão do mouse enquanto move o mouse para frente e para trás. Isso é como você faz zoom em VPython. Uma roda de rolagem também aumenta o zoom.

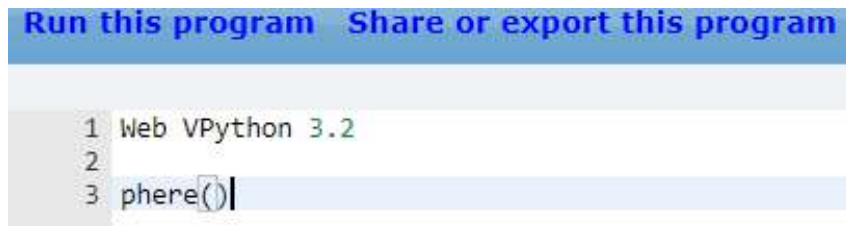
Mantenha pressionado o botão direito do mouse e mova o mouse para fazer a câmera girar em torno da cena, sempre olhando para o centro. Em um Mac, para girar a visualização, mantenha pressionada a tecla Control enquanto clica e arrasta o mouse. Isso é como você gira a cena em VPython (Tecnicamente, é a câmera que está girando). Por ser uma esfera, você não notará uma mudança significativa, exceto na iluminação.

O sistema de coordenadas no VPython é definido com a direção x positiva à direita e à esquerda negativa, a direção y positiva apontando para cima em direção à borda superior do monitor e à apontando para baixo negativa, e a direção z positiva saindo da tela em sua direção e entrando no monitor negativa. Você pode girar a visualização da câmera para fazer com que esses eixos apontem em outras direções em relação à câmera.

8. MENSAGENS DE ERRO: CRIANDO E CORRIGINDO UM ERRO

O GlowScript informa quando há um erro de sintaxe no seu programa. (Erros lógicos

são muito mais difíceis de corrigir!) Para ver um exemplo de mensagem de erro, tente cometer um erro de ortografia.



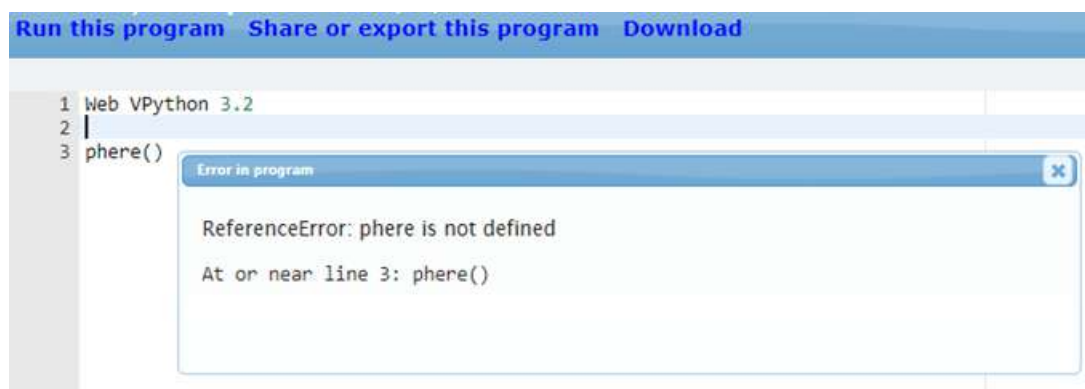
The screenshot shows a code editor with a blue header bar containing the text "Run this program" and "Share or export this program". Below the header, the code is as follows:

```
1 Web VPython 3.2
2
3 phere()
```

Quando você clica em “Run”

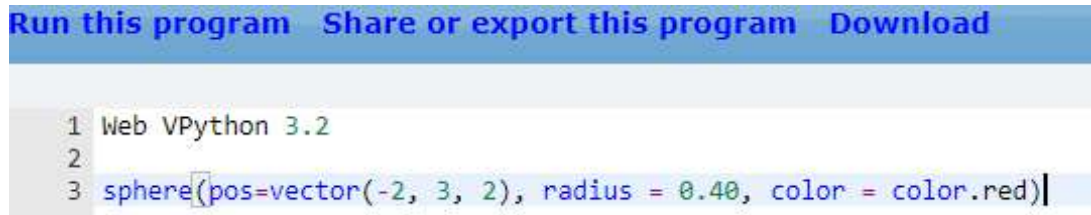


Você clica em “Edit” para corrigir o programa e clica no X para fechar a mensagem



9. ALTERANDO ATRIBUTOS (POSIÇÃO, TAMANHO, COR, FORMA, ETC.) DE UM OBJETO

Agora vamos dar à esfera fornecer atributos a "sphere" uma posição no espaço e um tamanho (raio) e uma cor, alterando a linha 3 no console.



Ao digitar o valores decimais, use o "ponto (.)" em vez de vírgula (,)"

Vector \rightarrow pode ser abreviado por `vec(x, y, z)` atributo de posição, para o atributo de cores podemos também usar o vector para representar, `vec(0.5, 1, 0.6)` por exemplo, Os números representam o sistema de cores do RGB (vermelho, verde, azul) e cada cor pode ser representada entre 0 e 1.

O VPython ajusta automaticamente o zoom da câmera para que todos os objetos apareçam na janela. Por causa dessa autoescala, os números para o `pos` (posição) e `radius` (raio) podem estar em qualquer conjunto consistente de unidades, como metros, centímetros, polegadas, etc. Por exemplo, o seguinte código representa uma esfera com um raio de 0,20 metros na posição $\langle 2, 4, 0 \rangle$ metros.

fonte: <https://www.glowscript.org/docs/VPythonDocs/index.html>

.2 Simulação para o Princípio de Fermat

.2.1 Reflexão da Luz

O objetivo desta simulação é verificar o princípio de Fermat ("A Natureza sempre atua pelo caminho mais curto"), para a reflexão da luz. Nesta simulação os estudante irão coletar dados fornecidos durante o evento, tais como, ângulo de incidência (localização exata onde o feixe de luz incide na superfície refletora.), ângulo de reflexão, ponto de incidência e tempo decorrido entre a fonte o receptor, passando pelo ponto de incidência, preenchendo a tabela (3)

```
scene.title = "Reflexão da luz no Espelho Plano\n"
f1_pos = vec(-1.5, 2, 0) # localização da fonte
fonte_pos = vec(-2.0, 2, 0)
p2_pos = vec(1.50, 3, 0)
piso_pos = pos=vec(0, -0.05, 0)
c = 0.3 # velocidade do raio de luz 0.3x10**9 m/s
anima = 1000000 # taxa de animação
piso_E = label(pos = vec(0, -0.4, 0), text = 'espelho', box=False)
```

```

espelho = label(pos = vec(0, -0.7, 0), text = 'comprimento 3.0 m', box=False)

f1 = sphere(pos = f1_pos, radius=0.07, color=color.yellow)
fonte = label(pos = fonte_pos, text = 'fonte', box=False)
p2=sphere(pos = p2_pos, radius=0.07, color=color.blue)
pisso = box(pos = piso_pos, size=vec(3.5, 0.1, 0.5))
raioluz=sphere(pos=f1_pos, radius=0.02, color=color.yellow,
make_trail=True)

def botao_resposta(b):
    raioluz.make_trail=False
    raioluz.pos = f1_pos
    raioluz.make_trail=True
    p=float(input('DIGITE UM PONTO NO ESPELHO PARA OBTER A
REFLEXÃO DA LUZ, ENTRE 0.2 a 2.9 m:'))

    if p > 0.2 and p<2.9:
        pontopiso=vec(f1_pos.x + p,0,0)

    else:
        print('ESCOLHA OUTRO VALOR')

    alvo = pontopiso-f1.pos
    raioluz.v = c*norm(alvo)
    raio=label(pos = vec(-2.2, 1.0, 0), text = 'raio de Luz', box=False)
    theta_i=acos(-raioluz.v.y/c)

    t=0
    dt=0.00001
    while raioluz.pos.y>=0:
        rate(anima)
        raioluz.pos = raioluz.pos + raioluz.v*dt
        t=t+dt

    alvo = p2.pos-pontopiso
    raioluz.v=c*norm(alvo)

    #calculo do angulo de reflexão
    theta_r=acos(raioluz.v.y/c)

```

```

Legenda_reflexao = label(pos =p2_pos+vec(1.,0,0), text = 'alvo', box=False)

while raioluz.pos.y<=p2.pos.y:
    rate(anima)
    raioluz.pos=raioluz.pos+raioluz.v*dt
    t=t+dt

Normal = box(pos=vec(pontopiso), size=vec(0.01, 1,0.5), opacity=0.5)

print('Ângulo (i) = {:.4f}'.format(theta_i*180/pi),'°
|' , 'Ângulo (r) = {:.4f}'.format(theta_r*180/pi),'°|
','posição = {:.2f}'.format(p),'m|','Tempo',t,'ns' )

button(bind = botao_resposta, pos=scene.title_anchor,
text='CLIQUE AQUI PARA INICIAR A SIMULAÇÃO.' )

```

.2.2 Refração da Luz

O objetivo desta simulação é verificar o princípio de Fermat ("A Natureza sempre atua pelo caminho mais curto"), aplicado à refração. Nesta simulação os estudante irão coletar dados fornecidos durante o evento, tais como, ângulo de incidência (localização exata onde o feixe de luz incide na interfase dos meios), ponto de incidência, o ângulo de refração e o tempo decorrido entre a fonte o alvo (receptor), preenchendo a tabela (5)

```

scene.userzoom=False
scene.background = color.gray(0.9)
f1_pos = vec(-1.5,2,0) # localização da fonte
fonte_pos = vec(-2.0, 2, 0)
p2_pos = vec(1.5, -3, 0)
piso_pos = pos=vec(0, -1.50, 0)

c = 0.3 # velocidade do raio de luz no vácuo
n1 = 1.0
n2 = 2.0

anima = 100000000 # taxa de animação
meio1 = label(pos = vec(3.3, 2.0,0), text = 'meio1 ', color=color.red, box=False, o
#n1t = label(pos = vec(3.3, 1.6,0), text = 'n1 = 1', color=color.red, box=False, o
meio2 = label(pos = vec(3.4, -1.5,0), text = 'meio2 ', color=color.red, box=False, o

```

```

#n2t = label(pos = vec(3.4, -2,0), text = 'n2 = 2', color=color.red, box=False, opacity=

f1 = sphere(pos = f1_pos, radius=0.07, color=color.yellow)
fonte = label(pos = fonte_pos, text = 'fonte',color=color.red, box=False)
p2=sphere(pos = p2_pos, radius=0.07, color=color.blue)
alvo_2 = label(pos = vec(2.0, -3.0,0), text = 'alvo', color=color.red, box=False,opacity

piso = box(pos = piso_pos, size=vec(8.5, 3, 0.5), opacity=0.5 )
g1=gcurve(color=color.red)

foton=sphere(pos=f1_pos+vec(0.07,0,0), radius=0.02, color=color.red, make_trail=True)
listp=[]
listt=[]
x=listp
y=listt
def botao_resposta(b):

    foton.make_trail=False
    foton.pos = f1_pos
    foton.make_trail=True

    p=float(input('ESCOLHA UM PONTO DE INCIDÊNCIA ENTRE OS DOIS MEIOS'))

    pontopiso=vec(f1_pos.x + p,0,0)

    listp.append(p)

    raioluz = norm(pontopiso-f1.pos)

    print('índice de refração meio indidente x seno de incidência = ',raioluz.x)

    t=0
    dt=0.000001

    while foton.pos.y>=0:
        rate(anima)
        foton.pos = foton.pos + (c/n1)*raioluz*dt
        t=t+dt

```

```
raioluzr = -norm(pontopiso-p2.pos)
print('Índice de refração meio refratado x seno da refração = ', raioluzr.x*2)
while foton.pos.y>=p2.pos.y:
    rate(anima)
    foton.pos = foton.pos + (c/n2)*raioluzr*dt
    t=t+dt

Normal = box(pos=vec(pontopiso), size=vec(0.01, 1,0.5), opacity=0.5)
print('posição e tempo')
listt.append(t)
print(listp)

print(listt)
g1.plot('posicao',data=[[x,y]])
n1t = label(pos = vec(3.3, 1.6,0), text = 'n1 = 1', color=color.red, box=False)
n2t = label(pos = vec(3.4, -2,0), text = 'n2 = 2', color=color.red, box=False,
button(bind = botao_resposta, pos=scene.title_anchor, text='CLIQUE AQUI PARA INICIA
```