



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PIAUÍ



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacion
Profissional em
Ensino de Física

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF**

CÉLIO ROBERTO SANTOS PENHA ROSA

**EXPERIMENTAÇÃO E GAMIFICAÇÃO COMO METODOLOGIA NO ENSINO E
APRENDIZAGEM DA ÓPTICA GEOMÉTRICA**

**TERESINA
2024**

CÉLIO ROBERTO SANTOS PENHA ROSA

**EXPERIMENTAÇÃO E GAMIFICAÇÃO COMO METODOLOGIA NO ENSINO E
APRENDIZAGEM DA ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Dissertação de Mestrado/Produto Educacional apresentada à Coordenação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física MNPEF - Polo 26, da Universidade Federal do Piauí (UFPI) como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio.

Orientador (a): Prof. Dr. (a). Janete Batista de Brito

**TERESINA
2024**

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Sistema de Bibliotecas UFPI - SIBi/UFPI
Biblioteca Setorial do CCN

R788e Rosa, Célio Roberto Santos Penha.
Experimentação e gamificação como metodologia no ensino e aprendizagem da óptica geométrica / Célio Roberto Santos Penha Rosa. – Teresina, 2024.
131 f. : il.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Piauí. Centro de Ciências da Natureza. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Teresina, 2024.
“Orientadora: Profa. Dra. Janete Batista de Brito”.

1. Física - Estudo e Ensino. 2. Metodologia de ensino. 3. Óptica geométrica. 4. gamificação. I. Brito, Janete Batista de. II. Título.

CDD 530.7

Bibliotecária: Caryne Maria da Silva Gomes - CRB3/1461



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ

Pró-reitoria de Ensino de pós- Graduação Coordenadoria Geral de Pós-Graduação

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 26 UFPI

e-mail: mnpef@ufpi.edu.br

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE CÉLIO ROBERTO SANTOS PENHA ROSA

Às nove horas do dia dezanove de julho de dois mil e vinte e quatro, reuniu-se de forma híbrida, presencialmente no Auditório do Departamento de Física da UFPI (CCN) e de formaremota na sala virtual da plataforma Google Meet, <https://meet.google.com/cng-ugfs-edf> a Comissão Julgadora da dissertação intitulado "EXPERIMENTAÇÃO E GAMIFICAÇÃO COMO METODOLOGIA NO ENSINO DE FÍSICA" do discente CÉLIO ROBERTO SANTOS PENHA ROSA, composta pelos professores Janete Batista de Brito (orientadora,UESPI), Antônio de Macedo Filho (Externo - UESPI), Edina Maria de Sousa Luz (Interno - UESPI), Micaías Andrade Rodrigues (Suplente Interno - UFPI), para a sessão de defesa pública do citado trabalho, requisito para a obtenção do título Mestre em Ensino de Física. Abrindo a sessão a professora e Presidente da Comissão, Janete Batista de Brito, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da defesa da Dissertação, passou a palavra ao discente para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos membros da Comissão Julgadora e respectiva defesa do discente. Nesta ocasião foram solicitadas correções no texto escrito, as quais foram acatadas de imediato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do aluno e do público, para julgamento e expedição do resultado final. O aluno **CÉLIO ROBERTO SANTOS PENHA ROSA** foi considerada **APROVADA**, por unanimidade, pelos membros da Comissão Julgadora, à sua dissertação. O resultado foi então comunicado publicamente a discente pelo Presidente da Comissão. Registrando que a confecção do diploma está condicionada à entrega da versão final da dissertação à CPG após o prazo estabelecido de 60 dias, de acordo com o artigo 39 da Resolução No 189/07 do CONSELHO DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO DA UFPI. Nada mais havendo a tratar, a Presidente da Comissão Julgadora deu por encerrado o julgamento que tem por conteúdo o teor desta Ata que, após lida e achada conforme, será assinada por todos os membros da Comissão para fins de produção de seus efeitos legais. Teresina-PI, 19 de julho de 2024.

Prof ^a . Janete Batista de Brito	
Prof ^a . Edina Maria de Sousa Luz	
Prof. Antonio de Macedo Filho	
Prof. Micaías Andrade Rodrigues	 Documento assinado digitalmente gov.br MICAÍAS ANDRADE RODRIGUES Data: 23/07/2024 13:39:43-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dedico este trabalho a todos da minha família,
em especial a minha esposa JOSENILDA DE
SOUSA MORAES e meus filhos CAMILA
JORDÂNIA MORAES SANTOS E VICTOR
HUGO MORAES SANTOS.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por me proporcionar essa experiência única na minha vida, de cursar o curso de mestrado e por todas as graças alcançadas.

A minha Mãe **Maria das Dores Santos Penha Rosa**, meu Pai **Inocência da Penha Rosa** (*in memoriam*), por sempre acreditar em mim.

A minha esposa **Josenilda de Sousa Moraes** e meus dois filhos **Camila Jordânia Moraes Santos** e **Victor Hugo Moraes Santos**, pelo força e incentivos durante esse tempo de duração do curso.

A meu sogro **Antônio José de Moraes (Seu Zezé)**, pelo apoio e hospedagem no período de duração do curso.

A todos os colegas da turma do mestrado de 2022.1, pelo ajuda, dedicação, incentivo e empenho de cada um, durante todo o curso.

Agradeço ao corpo docente do programa do MNPEF da UFPI pela competência e dedicação, e em especial à minha professora orientadora **Dra. Janete Batista de Brito** pela paciência e orientação nesse trabalho.

A todos os discentes da turma 200 – CHL de 2023, do Centro Educa Mais Amaral Raposo, por suas contribuições nesse trabalho.

Agradeço ao amigo e vereador **Cristiano Fontenele** pela força e apoio, para que conseguisse concluir o curso.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram com essa pesquisa, meus mais sinceros agradecimentos.

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, com que se sintam humildes”.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Para muitos estudantes do Ensino Médio a Física é considerada difícil, e quando trabalhada sem contexto torna-se mais complicado a compreensão e perde-se o brilho da Física. Assim sendo, esse trabalho desenvolveu a construção de uma sequência didática com o intuito de auxiliar os professores diante do processo de ensino-aprendizagem dos estudantes da 2ª série do Ensino Médio frente ao estudo da óptica geométrica, leis da reflexão e refração e dispersão da luz, de maneira que os estudantes participem ativamente do processo de construção de seu conhecimento. Este trabalho descrito aqui baseia-se nos princípios da Aprendizagem Significativa de Marco Antônio Moreira e David Ausubel. A pesquisa abrangeu a aplicação de uma sequência didática na sala da 2ª série de Ciência Humana e Linguagem (CHL), no Centro Educa Mais Amaral Raposo em Grajaú - MA. Com a aplicação de experimentos utilizando o kit didático Aventuras na Ciência – Aventuras com Raios de Luz, e também utilizando a Gamificação através dos jogos da Trilha Geométrica e Óptica Master. As avaliações foram realizadas de forma contínua e durante todo o processo de cumprimento da sequência didática, de forma exitosa em sua aplicação, analisando os resultados apresentados na avaliação diagnóstica, nos resultados obtidos das atividades experimentais como também na participação nos jogos didáticos e, por fim, nos resultados obtidos na atividade pós-teste.

Palavras-chave: sequência didática; óptica geométrica; experimentação e gamificação.

ABSTRACT

For many high school students, physics is considered difficult, and when it is taught without contextualization, understanding becomes more complicated and the brilliance of physics is lost. Therefore, this work developed the construction of a didactic sequence with the aim of helping teachers in the teaching-learning process of 2nd grade of high school students in the study of geometric optics, the laws of reflection and refraction and the dispersion of light, so that students actively participate in the process of constructing their knowledge. The work described here is based on the principles of Meaningful Learning by Marco Antônio Moreira and David Ausubel. The research involved the application of a didactic sequence in the 2nd year Human Sciences and Language (HSL) classroom at the Centro Educa Mais Amaral Raposo in Grajaú - MA. With the application of experiments using the teaching kit Aventuras na Ciência - Aventuras com Raios de Luz (Adventures in Science - Adventures with Light Rays), and also using gamification through the games Trilha Geométrica (Geometric Trail) and Mestre da Ótica (Master of Optics). The evaluations were carried out continuously throughout the process of completing the didactic sequence, with success in its application, analyzing the results presented in the diagnostic evaluation, in the results obtained in the experimental activities as well as in the participation in the didactic games and, finally, in the results obtained in the post-test activity.

Keywords: didactic sequence; geometric optics; experimentation and gamification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Representação esquemática dos elementos de games interconectados	23
Figura 3.1 – Uma visão esquemática do contínuo aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica.....	29
Figura 3.2 – Um mapa conceitual com formas e tipos de aprendizagem significativa.. ..	31
Figura 4.1 – Quando a Terra está longe de Júpiter como na posição E1, os eclipses de Io aparecem tarde. Quando a Terra está em posições como E2, os eclipses aparecem mais cedo.....	37
Figura 4.2 – Método Fizeau para medir a velocidade da luz por meio de uma roda dentada giratória.. ..	38
Figura 4.3 – Propagação retilínea da luz	39
Figura 4.4 – Câmara escura.....	39
Figura 4.5 – (a) Uma onda plana é parcialmente refletida e parcialmente refratada na interface entre dois meios (neste caso, o ar e o vidro). (b), (c) Como a luz se comporta na interface entre o ar dentro do café (material <i>a</i>) e o vidro (material <i>b</i>).	41
Figura 4.6 – Dois tipos de reflexão	42
Figura 4.7 – Leis de reflexão e refração	42
Figura 4.8 – Reflexão e refração em três casos. (a) O material <i>b</i> possui um índice de refração maior que o material <i>a</i> . (b) O material <i>b</i> possui um índice de refração menor que o material <i>a</i> . (c) O raio luminoso incidente é normal à interface entre os materiais.	43
Figura 4.9 – (a) Esta régua na verdade é retilínea, mas parece estar dobrada na superfície da água. (b) Os raios de luz provenientes de um objeto submerso se desviam da normal quando eles saem para o ar.....	44
Figura 4.10 – (a) Reflexão interna total. (b) Raios de um laser entram na água de um aquário vindos de cima.. ..	45
Figura 4.11 – Reflexão interna total em um prisma. O prisma altera a direção do feixe luminoso (a) em 90°, (b) em 180°.	46
Figura 4.12 – Variação do índice de refração <i>n</i> em função do comprimento de onda para alguns materiais transparentes. O eixo horizontal mostra o comprimento de onda λ_0 da luz no vácuo; o comprimento de onda no material é dado por $\lambda = \lambda_0/n$	47

Figura 4.13 – Dispersão da luz por um prisma. A faixa de cores é chamada de espectro.	48
Figura 4.14 – Como os arco-íris são formados.	49
Figura 4.15 – Raios de luz irradiados em todas as direções por um objeto situado no ponto P	51
Figura 4.16 – Raios de luz vindos do objeto no ponto P são refletidos em um espelho plano.	51
Figura 4.17 – Construção para determinar o local da imagem formada por um espelho plano.	52
Figura 4.18 – Construção para determinar a altura da imagem formada por reflexão em uma superfície plana.	53
Figura 4.19 – A imagem formada por um espelho plano é virtual, direita, invertida.	54
Figura 4.20 – A imagem formada por um espelho plano é invertida; a imagem de uma mão direita é uma mão esquerda e assim por diante.	54
Figura 4.21 – (a) Um espelho esférico côncavo forma uma imagem real de um objeto pontual P . (b) O olho vê alguns dos raios refletidos e os interpreta como se eles emanassem de uma fonte em P'	55
Figura 4.22 – A regra de sinais para o raio de um espelho esférico.	56
Figura 4.23 – O foco e a distância focal de um espelho côncavo.	58
Figura 4.24 – Construção para determinar a posição, a orientação e a altura da imagem formada por um espelho esférico côncavo.	59
Figura 4.25 – Formação da imagem em um espelho convexo.	60
Figura 4.26 – Foco e distância focal de um espelho convexo.	60
Figura 4.27 – Método gráfico para localizar a posição da imagem formada por um espelho esférico.	61
Figura 4.28 – F_1 e F_2 são o primeiro e segundo focos de uma lente delgada convergente. O valor numérico de f é positivo.	62
Figura 4.29 – Construção para determinar a posição da imagem formada por uma lente delgada.	63
Figura 4.30 – F_2 e F_1 são o segundo e o primeiro focos de uma lente delgada divergente, respectivamente. O valor numérico de f é negativo.	64
Figura 4.31 – Vários tipos de lentes.	65
Figura 4.32 – Método gráfico para localizar uma imagem formada por uma lente delgada.	66

Figura 4.33 – A curva de radiação da luz solar é um gráfico que mostra o brilho em função da frequência.....	67
Figura 4.34 – A curva de radiação da luz solar dividida em três regiões: vermelha, verde e azul (RGB)..	68
Figura 4.35 – A adição de cores realizada pela mistura de luzes coloridas..	69
Figura 6.1 – Feixe de luz paralelo	80
Figura 6.2 – Feixe de luz convergente	81
Figura 6.3 – Feixe de luz divergente	81
Figura 6.4 – Imagem da reflexão e mostrando o ângulo incidente e refratado	81
Figura 6.5 – Feixe de luz convergindo ao passar por uma lente biconvexa.....	82
Figura 6.6 – Feixe de luz divergindo ao passar por uma lente bicôncava.....	82
Figura 6.7 – Imagem da junção das lentes biconvexa e bicôncava.	83
Figura 6.8 – Imagens da decomposição da luz branca.....	83
Figura 6.9 – Imagens da decomposição da luz branca.....	83
Figura 6.10 – Imagens da decomposição da luz branca.....	84
Figura 6.11 – Imagens da Trilha e cartas comas perguntas.	85
Figura 6.12 – Imagens de um dos grupos.	85
Figura 6.13 – Imagens do outro grupo.	86
Figura 6.14 – Imagens de mais dois grupos.....	86
Figura 6.15 – Imagens das cartas da Óptica Master..	86
Figura 6.16 – Imagens de um grupo.....	87
Figura 6.17 – Imagens de outro grupo	87
Figura 6.18 – Imagens de mais um grupo	87
Figura 6.19 – Imagens de todos os grupos.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sequência Didática	73
Tabela 2 – Quantitativo de resposta da 1ª questão, avaliação diagnóstica	76
Tabela 3 – Quantitativo de resposta da 2ª questão, avaliação diagnóstica	77
Tabela 4 – Quantitativo de resposta da 3ª questão, avaliação diagnóstica	77
Tabela 5 – Quantitativo de resposta da 4ª questão, avaliação diagnóstica	77
Tabela 6 – Quantitativo de resposta da 5ª questão, avaliação diagnóstica	78
Tabela 7 – Quantitativo de resposta da 6ª questão, avaliação diagnóstica	78
Tabela 8 – Quantitativo de resposta da 7ª questão, avaliação diagnóstica	79
Tabela 9 – Quantitativo de resposta da 8ª questão, avaliação diagnóstica	79
Tabela 10 – Quantitativo de resposta da 9ª questão, avaliação diagnóstica	79
Tabela 11 – Quantitativo de resposta da 10ª questão, avaliação diagnóstica	80
Tabela 12 – Quantitativo de resposta da 1ª questão pós-teste.	88
Tabela 13 – Quantitativo de resposta da 2ª questão pós-teste.	88
Tabela 14 – Quantitativo de resposta da 3ª questão pós-teste.	89
Tabela 15 – Quantitativo de resposta da 4ª questão pós-teste.	89
Tabela 16 – Quantitativo de resposta da 5ª questão pós-teste.	90
Tabela 17 – Quantitativo de resposta da 6ª questão pós-teste.	90
Tabela 18 – Quantitativo de resposta da 7ª questão pós-teste.	90
Tabela 19 – Quantitativo de resposta da 8ª questão pós-teste.	91
Tabela 20 – Quantitativo de resposta da 9ª questão pós-teste.	91
Tabela 21 – Quantitativo de resposta da 10ª questão pós-teste.	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.
BNCC	Base Nacional Comum Curricular.
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais.
TASC	Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica.
CEMAR	Centro Educa Mais Amaral Raposo.
SEDUC	Secretaria Estadual de Educação.
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.
CHL	Ciência Humanas e Linguagem.
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.
SD	Sequência Didática.
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.
UFPI	Universidade Federal do Piauí.
PE	Produto Educacional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 HISTÓRIA DO ENSINO DA FÍSICA NO BRASIL	18
2.1 A definição de Física.....	18
2.2 A Física nas escolas	19
2.3 Para quê e por que ensinar Física?	19
2.4 Uma alternativa para o ensino da Física	21
2.5 Jogos como uma metodologia de ensino	22
2.6 Experimentos como uma metodologia de ensino	24
3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	26
3.1 O que é aprendizagem significativa?	26
3.2 Aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica.	28
3.3 Formas e tipos de aprendizagem significativa	29
3.4 Teoria da aprendizagem significativa crítica (TASC).....	32
4 ÓPTICA GEOMÉTRICA	36
4.1 Natureza da luz	36
4.1.1 Método de Roemer	37
4.1.2 Método de Fizeau	38
4.2 Propagação retilínea da luz	39
4.3 Reflexão e refração	39
4.3.1 Leis da reflexão e da refração	41
4.3.2 Reflexão interna total	44
4.4 Dispersão	47
4.4.1 Arco-íris.....	48
4.5 Reflexão e refração em uma superfície plana	50
4.5.1 Formação da imagem em um espelho plano.....	51
4.5.2 Regras de sinais	52
4.5.3 Imagem de um objeto extenso: espelho plano	53
4.6 Reflexão em uma superfície esférica	54
4.6.1 Imagem de um objeto pontual: espelho esférico	54
4.6.2 Foco e distância focal.....	57
4.6.3 Formação da imagem de um objeto extenso: espelho esférico côncavo	58
4.6.4 Espelhos convexos	59

4.7 Lentes delgadas	61
4.7.1 Propriedades das lentes.....	62
4.7.2 Imagem de um objeto extenso: lentes convergentes.....	63
4.7.3 Lentes divergentes	64
4.7.4 Métodos gráficos para lentes	65
4.8 Cor	66
4.8.1 A cor em nosso mundo	67
4.8.2 Misturando luzes coloridas	67
4.8.3 Cores primárias.....	68
5 METODOLOGIA	70
5.1 Caracterização da pesquisa	70
5.2 Campo empírico da pesquisa	70
5.3 Participantes da pesquisa	71
5.4 Técnicas e instrumentos de produção de dados	71
5.5 Produto educacional	72
5.5.1 Elaboração.....	72
5.5.2 Desenvolvimento.....	72
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	76
6.1 Avaliação diagnóstica	76
6.2 Experimentos com kit didático – aventuras na ciência	80
6.3 Aplicação dos jogos da Trilha da Óptica Geométrica e Óptica Master	84
6.4 Avaliação pós aplicação da SD	88
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS	96
APÊNDICE A – QUESTIONARIO INICIAL (AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA)	99
APÊNDICE B – QUESTIONARIO FINAL (PÓS-TESTE)	102
APÊNDICE C – CARTAS DOS JOGOS (FRENTE E VERSO)	104
APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL	21

1 INTRODUÇÃO

Uma grande parte dos estudantes acha o ensino de Física muito difícil de compreender seus conceitos. Isso nos leva a uma reflexão, porque os estudantes acham o componente curricular de física difícil, rotulando o mesmo como bicho papão?

Nessa direção, buscamos como alternativa para sanar a problemática, utilizar o lúdico através de jogos de cartas, tabuleiros e experimentos como ensino-aprendizagem para estudantes da 2ª série no ensino da Física, para que os estudantes saiam do abstrato, e venha aprender de forma mais significativa, porque a combinação de atividades lúdicas com o ensino é um instrumento motivador que atrai e estimula o processo de construção do conhecimento do estudante e, de acordo com Soares (2004), é definida como uma ação divertida, independente do contexto.

A criação de jogos e organização dos experimentos para abordar os conteúdos de física na parte da óptica geométrica, na 2ª série do ensino médio, com ênfase na aprendizagem significativa, é uma proposta construída para potencializar o ensino/aprendizagem e identificar aspectos que relacionem o lúdico e a construção do conhecimento no Ensino de Física.

Diante do exposto, apresentamos o trabalho, Experimentação e Gamificação como metodologia no ensino e aprendizagem da Óptica Geométrica, como um exposto para mediar os estudantes na compreensão dos assuntos sobre Óptica Geométrica no Ensino Médio. Sendo assim, surge um segundo questionamento que culminou no problema de pesquisa desse estudo: qual a perspectiva da Experimentação e Gamificação, enquanto metodologia de ensino, contribuir na aprendizagem dos conceitos da Óptica Geométrica?

Sendo assim, a proposta desse produto educacional é a produção de uma sequência didática (SD), proporcionando para os estudantes uma aprendizagem que seja potencialmente significativa, que faça sentido em seu cotidiano o entendimento sobre assuntos abordados em sala de aula com a realidade que vive. Para isso, abordaremos os conteúdos sobre Óptica Geométrica através de experimentos, utilizando o kit didático “Aventuras na Ciência”, com o tema Aventuras com Raios de Luz, e também através de jogos de cartas, como o Óptica Master, um quiz de perguntas e respostas e a Trilha da Óptica Geométrica, um jogo de tabuleiros,

equivalente ao jogo com o tema de Geografia “fontes de energia”, conhecido como classe invertida localizada no site <https://classeinvertida.blogspot.com>.

Moreira (2012), reitera que a aprendizagem significativa se caracteriza pela *interação* entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é *não-litera*l e *não arbitrária*. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

Moreira (2012), também destaca que a aprendizagem significativa ocorre quando: 1. Há um material potencialmente significativo, 2. O aprendiz possui um conhecimento prévio relevante e 3. O aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender.

Com isso, tem-se como objetivo geral, formular uma SD utilizando a Experimentação e Gamificação como metodologia de Ensino-Aprendizagem no componente curricular de Física, no 2º ano do ensino médio na parte de Óptica Geométrica. Para tanto os objetivos específicos são, a) realizar estudo teórico sobre Experimentação e Gamificação no ensino-aprendizagem para o ensino de física; b) aplicar a gamificação utilizando algumas regras de jogos como potencializador do ensino-aprendizagem c) proporcionar um ensino significativo na Óptica Geométrica através da Experimentação e Gamificação; d) Criar uma SD sobre os assuntos da Óptica Geométrica, utilizando a Experimentação e Gamificação como auxílio no ensino-aprendizagem dos estudantes.

2 HISTÓRIA DO ENSINO DA FÍSICA NO BRASIL

Nessa seção abordaremos uma síntese sobre o ensino da Física, iniciamos abordando a definição de Física, a Física na escola, para quê e por que ensinar Física? Com isso o leitor tenha uma breve síntese sobre os assuntos que serão discorridos nos tópicos seguintes para uma melhor explanação e entendimento do trabalho.

2.1 A definição de Física

Por definição, “Física é a ciência que investiga as propriedades dos campos, a estrutura dos sistemas materiais e suas leis fundamentais” Ferreira (2000, p. 323). Apesar de estar presente em todos os lugares, seja ele do Planeta ou do Universo, muitas pessoas não têm conhecimento de como a Física está influenciando sua vida. Dado fato, são circunstâncias da história, devido ao surgimento como área que estuda os fenômenos, suas causas e consequências. Os cientistas eram tratados não como pessoas normais, mas como uma classe diferenciada da população, pois se pensava que as descobertas feitas por eles só interessavam a si mesmo. (Dificuldades, 2012).

No entanto, com os avanços nas pesquisas e a produção de utensílios que cada vez mais ajudavam o ser humano na sua convivência no mundo, a Física passou a ser reconhecida como extremamente essencial para a evolução da humanidade, sendo ministrada como disciplina obrigatória nas escolas. Mesmo com essa importância, a linguagem da Física até alguns anos, ainda não era compreendida por todos devido às metodologias utilizadas pelos educadores. Em vista dessa reflexão teórica, o que a legislação nos mostra em relação à educação e o ensino de física no Ensino Médio? (Dificuldades, 2012).

O acesso à educação no Brasil é um direito, previsto em lei, e pode ser exigido por qualquer cidadão. A formação básica obrigatória é composta por três etapas, a Educação Infantil, o Ensino Fundamental e pelo Ensino Médio, sendo este a última delas com duração mínima de três anos. (Brasil, 1996).

De acordo com a Lei nº 9.394 de 1996 que estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), o Ensino Médio tem como finalidade consolidar e aprofundar os conhecimentos adquiridos no Ensino Fundamental, preparar e aprimorar o educando para o trabalho e a cidadania como pessoa humana, com uma

formação ética, intelectual e de pensamento crítico. O texto explicita também como um objetivo “a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina”. (Brasil,1996).

Com isso, ao final do Ensino Médio o estudante tem que estar apto a dominar as técnicas de conhecimentos específicos do currículo da Educação Básica, para o mercado de trabalho e também para sociedade como cidadão ético, intelectual e crítico.

2.2 A Física nas escolas

No Brasil, a Física foi ministrada, primeiramente, em curso superior de engenharia civil e militar, no qual se observou logo a necessidade de montar laboratórios, para uma melhor compreensão das teorias exploradas na sala de aula. Com o passar do tempo, o estudo da Física foi estendido a outros cursos e ao Ensino Médio, pois havia uma necessidade de que o aluno já tivesse o contato com a disciplina para um melhor preparo tanto para o Ensino Superior como para o mundo em que vive. (Dificuldades, 2012).

Contudo, a Física só é ministrada, até hoje, no Ensino Médio, sendo apresentada com uma pequena introdução no Ensino Fundamental juntamente com a Química, levando o nome de Ciências. (Dificuldades, 2012).

Com isso, ao iniciarem o Ensino Médio, os alunos se deparam com a Física e a Química separadamente, onde representa a fase em que o discente encontra dificuldade, pois a disciplina exige diversos conhecimentos adquiridos ao longo de todo Ensino Fundamental, “a falta de conhecimentos básicos em leitura e interpretação de textos, e dificuldades com a Matemática básica, são fatores que prejudicam a aprendizagem do estudante logo no primeiro contato com a Física”. Cavalcante (2010).

2.3 Para quê e por que ensinar física?

Ensinar Física não é fácil. Aprender é menos ainda. Para Gleiser (2000), ensinar também é um processo de aprendizado. O educador, ao educar os outros, está constantemente se educando. Desta forma, educar é, também, um processo de

autodescoberta, em que a mensagem e seu significado refletem a visão de mundo do educador. Não existe uma mensagem sem um mensageiro, e aqueles que pensam que em Física - e todas as ciências naturais - devido à sua formulação quantitativa, isso não se aplica, estão muito enganados. (Dificuldades, 2012).

O objetivo das ciências naturais é explorar e compreender os fenômenos da Natureza. Infelizmente, é muito comum acreditar justamente no oposto: que a ciência, em especial a Física, ao matematizar o mundo, tira a sua beleza. Esta tendência em direcionar o ensino desta disciplina à resolução de problemas, que normalmente estão recheados de cálculos, fortemente influenciados pelo uso do livro didático, tem sido tema de sérias críticas às editoras e, por consequência, aos autores das obras.

A maioria dos livros que circulam nas escolas apresentam os conteúdos como conceitos estanques, dando o caráter de Ciência acabada e imutável a Física. Porém, o maior problema das obras está na forte identificação que elas agregam entre a Física e os algoritmos matemáticos. Os textos e, principalmente, os exercícios são apresentados como matemática aplicada, na qual a questão fundamental se resume a treinar o estudante na resolução de problemas algébricos.

Essa situação aponta para a necessidade de explicar as finalidades do ensino da Física na educação básica, particularmente no ensino médio, já que a seleção dos conteúdos, a metodologia utilizada, o enfoque abordado, entre outros elementos que constituem a ação pedagógica do professor, estão apoiados nessas finalidades e objetivos que são estabelecidos para este nível de ensino. Mais quais seriam esses objetivos?

Para Rosa e Rosa (2003), essas finalidades seguem o seguinte raciocínio: a) O objetivo estaria vinculado ao ensino da disciplina como forma de domínio dos seus conceitos e fenômenos, proporcionando a formação de especialistas em Física, a chamada lógica interna da disciplina; b) A Física seria ensinada como um instrumento para outros fins dados explicitamente; por exemplo: formar cidadãos esclarecidos, conscientes, etc...; c) Ou ainda, ensinar Física teria por objetivo obter êxito nos exames vestibulares, que são concebidos por criação interna do sistema.

Vale frisar que de acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na Educação Básica, a área de Ciências da Natureza deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias. Ao mesmo tempo,

a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnada de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais PCNs (Brasil, 2008, p. 46), “o objetivo principal do ensino médio é a formação da autonomia crítica do educando, devendo esta basear-se em três aspectos: intelectual, político e econômico”.

Nesse cenário, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, propõe ampliar e sistematizar as aprendizagens essenciais desenvolvida no ensino fundamental focando em:

Interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza. Significa, ainda, criar condições para que eles possam explorar os diferentes modos de pensar e de falar da cultura científica, situando-a como uma das formas de organização do conhecimento produzido em diferentes contextos históricos e sociais, possibilitando-lhes apropriar-se dessas linguagens específicas. (Brasil, 2018, p. 537)

Outro obstáculo encontrado no caminho da Física nas escolas é a pequena carga horária, e agora menor ainda com a implantação do novo ensino médio, fazendo com que os conteúdos sejam explorados de forma quase que superficial e sempre voltados para provas de vestibulares e ENEM. Com isso, os professores acabam buscando uma alternativa que são os resumos, ficando o ensino da Física sem ligação alguma com o cotidiano do indivíduo.

A contextualização de conteúdos com os saberes empíricos do aluno, não é uma simples lapidação do senso comum para compreensão dos fenômenos, mas é o uso do conhecimento científico para um melhor entendimento do que não fica esclarecido com as explicações do senso comum.

Apesar de tudo isso, o diagnóstico aponta para uma preocupante situação ao constatar que a finalidade do ensino da Física na escola básica ainda parece não estar bem explicitada para os especialistas em educação. Pesquisadores da área do ensino de ciências (Física) têm evidenciado a necessidade de que tais objetivos sejam claramente apontados e definam em melhor proporção o ensino dessa disciplina.

2.4 Uma alternativa para o ensino da física

No processo de ensino-aprendizagem de física na parte da Óptica Geométrica, os professores aplicam metodologia de ensino tradicionais em suas aulas, por esse

motivo a utilização de experimentos e jogos como metodologia de ensino-aprendizagem seria uma opção para os estudantes nas aulas de física.

Como explica Silva e Moura (2013), o jogo educativo é capaz de propiciar o equilíbrio entre as ideias pré-existentes (subsunçores) e os conceitos novos que serão apresentados aos alunos que, além de desenvolver o domínio sobre situações diferentes de aprendizagem, possibilita a humanização do sujeito como um fator para a aprendizagem significativa.

A utilização de experimentos e jogos educativos no ensino da física têm o objetivo de potencializar o ensino-aprendizado dos conteúdos da óptica geométrica nas aulas, fazendo com que os estudantes entendam os conceitos físicos de forma lúdica e divertidas e assim, proporcionando uma aprendizagem significativa.

2.5 Jogos como uma metodologia de ensino

Os jogos acompanham os indivíduos desde o início de suas vidas como um modo de descontração, brincadeiras e divertimento entre os seres humanos. Já na educação eles vêm se destacando de maneira positiva como metodologia eficaz para o ensino-aprendizagem.

Nesse contexto, os jogos atuam como uma didática que envolve os estudantes em seu contexto de estudo, fazendo com que os estudantes sintam vontade de participar ativamente de seu conhecimento e assim obter uma aprendizagem significativa.

Nesse sentido, segundo Silvia e Moura (2013, p. 5), “O jogo poderá possibilitar a construção de conhecimento do educando, servindo como mediador entre conteúdo disciplina e a realidade histórico-social do educando”.

O lúdico, como recurso pedagógico envolve a brincadeira podendo ser, portanto, um fator de aprendizagem significativa para o educando, possibilitando o desenvolvimento motor, cognitivo, afetivo e social. Afinal, as atividades lúdicas na prática docente, são importantes e exercem influência na aprendizagem. Silvia; Moura (2013, p. 4).

Por essa razão está previsto nos PCN como uma alternativa aos recursos e materiais didáticos devido a sua capacidade de desenvolver relações afetivas e interpessoais que permitem ao aluno se colocar no ponto de vista do outro, o capacitando a refletir sobre os seus próprios pensamentos. (Brasil, 2000).

Nessa perspectiva, a gamificação é uma didática promissora e atuante no ensino-aprendizagem dos estudantes, devido as grandes mudanças na sociedade motivadas pelos avanços das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC).

Mas, o que é Gamificação? Segundo Silva, Sales e Castro (2019, p. 2),

A gamificação contempla o uso de elementos de *design* de *games* em contextos fora dos *games* para motivar, aumentar a atividade e reter a atenção do usuário. Os elementos de *games* são objetivos, regras claras, *feedback* imediato, recompensas, motivação intrínseca, inclusão do erro no processo, diversão, narrativa, níveis, abstração da realidade, competição, conflito, cooperação, voluntariedade, entre outros.

Nessa concepção, a gamificação é uma didática que vai nos ajudar muito no sentido de fazer acontecer com que os objetivos sejam alcançados, e o *feedback* aconteça de forma imediata em relação aos assuntos trabalhados nessa dinâmica. Proporcionando uma aula mais atraente, divertida e engajado pelos estudantes, e assim, um aprendizado significativo.

Figura 2.1: Representação esquemática dos elementos de games interconectados.



Fonte: acessado em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0309>

As regras possibilitam que o jogador explore os espaços oferecidos, para desenvolver a criatividade e motivar o pensamento estratégico, e tem uma melhor dinâmica, organização e engajamento em relação a tarefa realizada.

Quando se fala em gamificar a educação, pode-se pensar logo em jogos, porém não é só isso, quando o professor organiza suas atividades em busca de um objetivo, está gamificando.

A educação gamificada tem como objetivo incentivar os alunos a aprenderem se divertindo, isto é, a gamificação desperta o interesse dos educandos, aumentando sua vontade de aprender. Ademais, a gamificação na educação possibilita: a) Feedback instantâneo; b) O aumento do comprometimento com a aprendizagem; c) Maior controle sobre a aprendizagem; d) Oportunidades para a resolução de problemas de forma colaborativa; e) Refazer mais de uma vez a mesma tarefa quando o aluno erra, pois ele pode tentar de novo sem consequências negativas providas do professor ou dos colegas. (Leite, 2017, p. 3)

Dessa forma, a gamificação é um recurso muito valioso para uma aprendizagem significativa, coloca o estudante no centro de seu conhecimento, tornando-se ativo no processo de ensino-aprendizagem. Segundo Leite (2017, p. 3):

Cabe ressaltar que, a gamificação na educação é apropriada quando se pretende: 1) Motivar alunos a aprenderem os conteúdos disciplinares; 2) Influenciar o comportamento do aluno em sala de aula; 3) Guiar os alunos para que possam inovar na resolução dos problemas propostos; 4) Encorajar nos alunos a autonomia para desenvolver competências e habilidades; 5) Ensinar novos conteúdos.

2.6 Experimentos como uma metodologia de ensino

As abordagens através de experimento, seja em laboratório ou em sala é de grande valia para o ensino-aprendizagem, porque o interesse e o engajamento dos estudantes em participar da construção ativa de seu conhecimento é muito maior. Porque sabemos que somente aulas expositivas não chama a atenção dos estudantes, eles ficam muito dispersos. Com isso, enfatiza Moraes e Silva (2014, p. 66);

A prática experimental é uma ferramenta bastante útil no ensino aprendizagem de ciências, em especial a Física. Pois os conhecimentos adquiridos teoricamente em sala devem proporcionar ao aluno a capacidade de conciliar o seu cotidiano à teoria de forma prática e pedagógica, expondo suas ideias, pensamentos e críticas. Uma forma de incentivar os alunos a participarem mais das aulas é tornar os experimentos didáticos mais próximos de sua realidade e cotidiano, implementando recursos e instrumentos tecnológicos na prática experimental. Mesmo porque, é interessante que a forma de linguagem utilizada em sala de aula seja proporcional ao contexto do aluno, principalmente quando se tem como finalidade a construção de novos pensamentos e conceitos.

Nesse contexto, as aulas utilizando experimentos vêm contribuir para que os estudantes tenham um ensino-aprendizagem significativo, onde o mesmo participe

ativamente da construção de seu conhecimento, enriquecendo seu conhecimento prévio, realizando a ancoragem de novos conhecimentos naqueles já existente.

Como diz Alves e Stachak,

O ato de experimentar no ensino de Física é de fundamental importância no processo ensino-aprendizagem e tem sido enfatizado por muitos autores. Esta ênfase por um ensino experimental adiciona-se importantes contribuições da teoria da aprendizagem em busca da contribuição do conhecimento. Diante disto, justifica-se a experimentação no ensino de Física como ferramenta auxiliar ao processo ensino-aprendizagem ou como sendo o próprio processo da construção do conhecimento científico, na contribuição positiva no processo de formação do cidadão.

A experimentação nas aulas de física desperta a curiosidade, fazendo com que os estudantes tenham um maior interesse e participação no assunto que estar sendo explanado na aplicação do experimento.

3 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O Ensino de Física apresenta em sua diversidade de metodologia muitas alternativas de ensino como simulações, filmes, documentários, etc. Mas os professores ainda estão trabalhando de forma tradicional, mecânica e matematizando os conteúdos da física e por este motivo os estudantes não veem motivos e inspiração para o Ensino-Aprendizagem de física, deixando os mesmos desmotivados com as aulas e sem nenhuma ligação com seu cotidiano.

Nesse sentido, uma das medidas a ser tomada pelos professores seria a aprendizagem significativa, onde os estudantes veriam um motivo, um sentido e uma aplicação em seu dia-dia dos conteúdos estudados em física, facilitando o processo de Ensino-Aprendizagem.

3.1 O que é aprendizagem significativa?

Aprendizagem significativa caracteriza-se pela interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Nesse processo, que é não-litera e não-arbitrário, o novo conhecimento adquire significados para o aprendiz e o conhecimento prévio fica mais rico, mais diferenciado, mais elaborado em termos de significados, e adquire mais estabilidade. Moreira (1999).

A aprendizagem significativa para acontecer tem que relacionar os conhecimentos que o indivíduo já detém, que segundo Ausubel, são os conhecimentos prévios, com os novos conhecimentos adquiridos, dando maior significado ao que está aprendendo.

Moreira (2012), destaca que a aprendizagem significativa ocorre quando:

- 1. Há um material potencialmente significativo:** O material de aprendizagem deve ser organizado de maneira lógica e clara, tornando possível a conexão com o conhecimento prévio do aprendiz.
- 2. O aprendiz possui um conhecimento prévio relevante:** O novo conteúdo deve ser relacionado a conceitos já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Quanto mais conexões forem feitas, mais significativa será a aprendizagem.
- 3. O aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender:** A motivação exerceu um papel importante na aprendizagem significativa. Se o aprendiz vê valor e

encoraja no novo conhecimento, ele estará mais disposto a engajar-se no processo de aprendizagem.

Diante das situações apresentadas, A **primeira** condição implica que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, ...) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante), a **segunda** que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado e a **terceira** é que para aprender significativamente determinado conhecimento o aprendiz deve manifestar uma disposição para relacionar, de maneira substantiva e não arbitrária, o novo material, potencialmente significativo, a sua estrutura cognitiva, deve ter uma intencionalidade.

Segundo Moreira (2012), os princípios fundamentais da aprendizagem significativa são:

Subsunçores: Ele baseia sua teoria na noção de "subsunçores", que são conceitos ou ideias já presentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Esses subsunçores operam como âncoras para o novo conhecimento. O processo de aprendizagem ocorre quando o novo conteúdo se conecta a esses subsunçores, criando uma ponte entre o que já é conhecido e o que está sendo aprendido.

Construção Ativa: A aprendizagem significativa envolve a construção ativa do conhecimento pelo aprendiz. Isso significa que o aluno não apenas recebe informações passivamente, mas também como processa e como se relaciona com seu conhecimento prévio, o que leva à compreensão profunda e à reorganização cognitiva.

Relevância: A motivação para aprender é aumentada quando os alunos percebem a voz do novo conhecimento em relação ao seu mundo e às suas experiências. Quando o conteúdo é visto como significativo e aplicável, os alunos estão mais dispostos a se envolver no processo de aprendizagem.

Conflito Cognitivo: A resolução de conflitos cognitivos é um aspecto fundamental da aprendizagem significativa. Quando os alunos encontram discrepâncias entre o que já sabem e as novas informações, eles são incentivados a buscar ativamente a compreensão para superar esse conflito. Isso estimula a reflexão e a reorganização do conhecimento.

Contextualização: A aprendizagem significativa é facilitada quando o novo conhecimento é apresentado em um contexto que faz sentido para o aluno. A

aplicação do conteúdo em situações do cotidiano ou em problemas reais ajuda a fortalecer as conexões e tornar a aprendizagem mais relevante.

Interação Social: A interação entre alunos, bem como entre alunos e professores, pode enriquecer uma aprendizagem significativa. Discussões, debates e colaborações podem ajudar os alunos a explorar diferentes perspectivas e construir significados mais profundos.

Para Moreira (2012), o subsunçor é, portanto, um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e que permite, por interação, dar significado a outros conhecimentos. Não é conveniente “coisificá-lo”, “materializá-lo” como um conceito, por exemplo. O subsunçor pode ser também uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo, enfim um conhecimento prévio especificamente relevante para a aprendizagem significativa de determinados novos conhecimentos. A clareza, a estabilidade cognitiva, a abrangência, a diferenciação de um subsunçor variam ao longo do tempo, ou melhor, das aprendizagens significativas do sujeito. Trata-se de um conhecimento dinâmico, não estático, que pode evoluir e, inclusive, involuir.

Quanto a modificação dos subsunçores, podemos classificar em duas situações: subsunção derivada, que é bastante acentuada e subsunção correlativa, quando apenas reforça o subsunçor, por exemplo:

Quando um aluno de Física resolve vários problemas envolvendo energia potencial e cinética sempre confirmando a conservação da energia mecânica, a subsunção é derivativa. Usando um exemplo já dado na visão geral da teoria, pode-se dizer que quando um estudante aprende que a Primeira Lei da Termodinâmica é um caso particular da Conservação da Energia aplicada a fenômenos térmicos, provavelmente a subsunção é correlativa: o que antes se aplicava à Mecânica agora se aplica também à Termodinâmica. A ideia é simples: em algumas aprendizagens significativas o(s) subsunçor(es) se modificam bastante em outras não. Moreira (2012, p. 9)

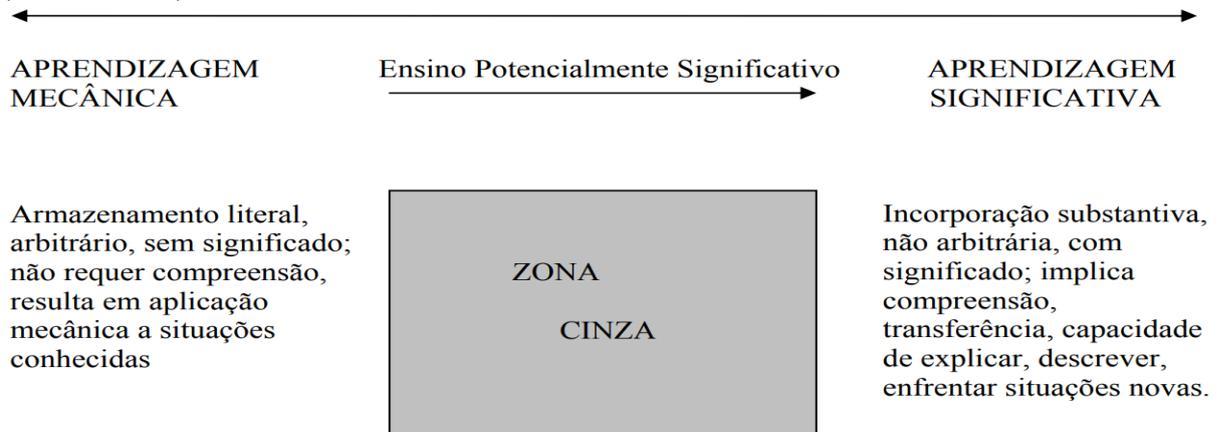
3.2 Aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica.

Como já expressamos no tópico anterior sobre a aprendizagem significativa, é uma aprendizagem progressiva que ocorre de maneira contínua, não arbitrária e não literal. Para Moreira a aprendizagem não é uma dicotomia, ou mecânica ou significativa, ele afirma que:

Aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa são extremos de um contínuo. Entre elas há uma “zona cinza” como mostra a figura abaixo, na qual, em sala de aulas, por exemplo, pode estar ocorrendo aprendizagem significativa em razão do ensino recebido, dos materiais instrucionais e das atividades desenvolvidas. A aprendizagem significativa não é abrupta, é

progressiva, os conhecimentos vão sendo adquiridos, progressivamente, com significados aceitos no contexto da matéria de ensino. (2021, p. 3).

Figura 3.1: Uma visão esquemática do contínuo aprendizagem significativa-aprendizagem mecânica. (Moreira, 2012)



Fonte: Moreira (2012, p. 12).

Nesse sentido Moreira critica a aprendizagem mecânica como sendo aquela em que há, na estrutura cognitiva, um armazenamento de conhecimentos de forma literal, arbitrária, sem significados, que não requer compreensão e resulta em aplicação mecânica a situações conhecidas.

Segundo Moreira (1999), na aprendizagem significativa, o aprendiz não é um receptor passivo:

Longe disso. Ele deve fazer uso dos significados que já internalizou, de maneira substantiva e não arbitrária, para poder captar os significados dos materiais educativos. Nesse processo, ao mesmo tempo que está progressivamente diferenciando sua estrutura cognitiva, está também fazendo a reconciliação integradora de modo a identificar semelhanças e diferenças e reorganizar seu conhecimento. Quer dizer, o aprendiz constrói seu conhecimento, produz seu conhecimento. Moreira (1999, p. 5).

O indivíduo deve internalizar os novos conhecimentos enfatizando com os conhecimentos já adquiridos anteriormente, organizando e produzindo conhecimento de maneira mais substantiva e não arbitrária, diferenciando sua estrutura cognitiva.

3.3 Formas e tipos de aprendizagem significativa

Podemos classificar a aprendizagem significativa em três formas: por subordinação, por superordenação e de modo combinatório.

Para Moreira (2012, p. 14), a aprendizagem significativa é dita *subordinada* quando os novos conhecimentos potencialmente significativos adquirem significados,

para o sujeito que aprende, por um processo de ancoragem cognitiva, interativa, em conhecimentos prévios relevantes mais gerais e inclusivos já existentes na sua estrutura cognitiva.

A aprendizagem *superordenada* envolve, então, processos de abstração, indução, síntese, que levam a novos conhecimentos que passam a subordinar aqueles que lhes deram origem. É um mecanismo fundamental para a aquisição de conceitos, como no exemplo dado.

Aprendizagem *combinatória* é, então, uma forma de aprendizagem significativa em que a atribuição de significados a um novo conhecimento implica interação com vários outros conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva, mas não é nem mais inclusiva nem mais específica do que os conhecimentos originais. Tem alguns atributos criteriais, alguns significados comuns a eles, mas não os subordina nem superordena.

Já os tipos de aprendizagem significativas são: representacional, conceitual e proporcional.

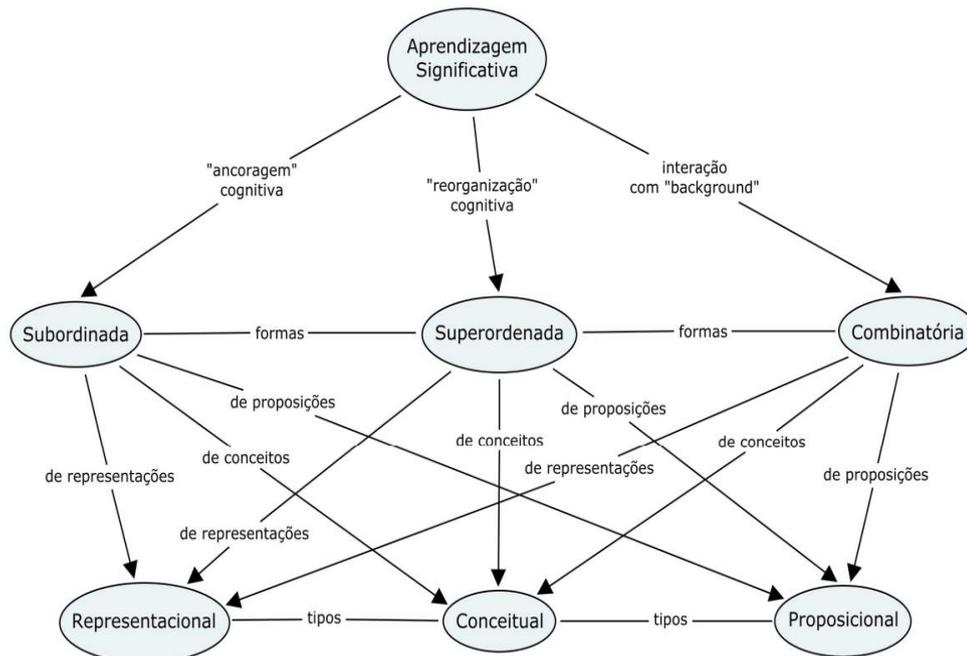
Aprendizagem *representacional* é a que ocorre quando símbolos arbitrários passam a representar, em significado, determinados objetos ou eventos em uma relação unívoca, quer dizer, o símbolo significa apenas o referente que representa.

A aprendizagem *conceitual* ocorre quando o sujeito percebe regularidades em eventos ou objetos, passa a representá-los por determinado símbolo e não mais depende de um referente concreto do evento ou objeto para dar significado a esse símbolo. Trata-se, então, de uma aprendizagem representacional de alto nível.

A aprendizagem *proposicional*, implica dar significado a novas ideias expressas na forma de uma proposição. As aprendizagens representacional e conceitual são pré-requisito para a proposicional, mas o significado de uma proposição não é a soma dos significados dos conceitos e palavras nela envolvidos.

Como vimos as explicações acima, vamos mostrar logo abaixo, um mapa conceitual para um melhor entendimento, segundo Moreira (2013);

Figura 3.2: Um mapa conceitual com formas e tipos de aprendizagem significativa.



Fonte: Moreira (2013, p. 9)

Nessa perspectiva, conhecemos princípios programáticos facilitadores dessa aprendizagem - como a *diferenciação progressiva*, a *reconciliação integradora*, a *organização sequencial* e a *consolidação* (Ausubel et al. 1978, 1980, 1983).

Diferenciação progressiva é o princípio programático segundo o qual as ideias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino devem ser apresentadas desde o início da instrução e, progressivamente, diferenciadas em termos de detalhes e especificidade. Ou seja, a ideia principal, o que é mais relevante para o estudante tem que ser introduzido desde o início.

Já a *reconciliação integradora*, deve não apenas proporcionar a diferenciação progressiva, mas também explorar explicitamente, relações entre conceitos e proposições, chamar a atenção para diferenças e semelhanças e reconciliar inconsistências reais e aparentes.

Para Ausubel, esses dois primeiros princípios são consequências do processo da dinâmica da estrutura cognitiva, o ser que aprende vai, ao mesmo tempo, diferenciando progressivamente e reconciliando integrativamente os conhecimentos adquiridos.

Já a *organização sequencial*, é o princípio a ser observado na programação do conteúdo com fins instrucionais, consiste em sequenciar os tópicos, ou unidades de estudo, de maneira tão coerente quando possível (observados os princípios de

diferenciação progressiva e reconciliação integrativa). E *consolidação* como quarto princípio programático de um ensino, objetiva a aprendizagem significativa levando a insistir no domínio (respeitada a progressividade da aprendizagem significativa) do que está sendo estudado antes de introduzir-se novos conhecimentos. É uma decorrência natural da premissa de que o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem subsequente.

Nessa direção, Moreira (2006), nomeia algumas estratégias facilitadoras como os organizadores prévios, os mapas conceituais e os diagramas V.

Organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados antes do material de aprendizagem em si mesmo, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade, para servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber para que esse material fosse potencialmente significativo ou, mais importante, para mostrar a relacionabilidade e a discriminabilidade entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio.

Mapas conceituais, são diagramas que indicam relações entre conceitos (apenas conceitos) e procuram refletir a estrutura conceitual de um certo conhecimento. Mais especificamente, podem ser vistos como diagramas conceituais hierárquicos. Construí-los, "negociá-los", apresentá-los, refazê-los, são processos altamente facilitadores de uma aprendizagem significativa.

Diagramas V, são instrumentos heurísticos para a análise da estrutura do processo de produção de conhecimento (entendido como as partes desse processo e a maneira como se relacionam) e para "desempacotar" conhecimentos documentados sob a forma de artigos de pesquisa, livros, ensaios, etc. Assim como no caso dos mapas conceituais, sua construção, discussão e reconstrução são processos bastante favorecedores de aprendizagens significativas.

3.4 Teoria da aprendizagem significativa crítica (tasc)

Mais o que é TASC? Segundo Moreira (2000), é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela. Trata-se de uma perspectiva antropológica em relação às atividades de seu grupo social que permite ao indivíduo participar de tais atividades.

É através da aprendizagem significativa crítica que o aluno poderá fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, não ser subjugado por ela, por seus ritos, mitos e ideologias.

É através dessa aprendizagem que ele poderá lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela, manejar a informação sem sentir-se impotente frente a sua grande disponibilidade e velocidade de fluxo, usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo. Por meio dela, poderá trabalhar com a incerteza, a relatividade, a não-causalidade, a probabilidade, a não-dicotomização das diferenças, com a ideia de que o conhecimento é construção (ou invenção) nossa, que apenas representamos o mundo e nunca o captamos diretamente. Moreira (2000 p. 7)

Para facilitar a aprendizagem significativa crítica Moreira propôs alguns princípios, ideias ou estratégias facilitadoras, ao mesmo tempo, crítico (subversivo), são eles:

1 - Princípio do conhecimento prévio. Aprendemos a partir do que já sabemos.

Quer dizer, para ser crítico de algum conhecimento, de algum conceito, de algum enunciado, primeiramente o sujeito tem que aprendê-lo significativamente e, para isso, seu conhecimento prévio é, isoladamente, a variável mais importante. Moreira (2000, p.8).

2 - Princípio da interação social e do questionamento. Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas.

Um ensino centrado na interação entre professor e aluno enfatizando o intercâmbio de perguntas tende a ser crítico e suscitar a aprendizagem significativa crítica. Como sugerem os autores em foco: "Uma vez que se aprende a formular perguntas -- relevantes, apropriadas e substantivas -- aprende-se a aprender e ninguém mais pode impedir-nos de aprendermos o que quisermos" (ibid).

Nessa visão, quando o aluno formula uma pergunta relevante, apropriada e substantiva, ele utiliza seu conhecimento prévio de maneira não-arbitrária e não-literal, e isso é evidência de aprendizagem significativa. Quando aprende a formular esse tipo de questões sistematicamente, a evidência é de aprendizagem significativa crítica. Moreira (2000, p. 9)

3 - Princípio da não centralidade do livro de texto. Do uso de documentos, artigos e outros materiais educativos. Da diversidade de materiais instrucionais.

Não se trata, propriamente, de banir da escola o livro didático, mas de considerá-lo apenas um dentre vários materiais educativos. Seguramente, há bons livros didáticos em qualquer disciplina, mas adotar um único como livro de texto, vai contra a

facilitação da aprendizagem significativa crítica. É uma prática docente deformadora, ao invés de formadora, tanto para alunos como para professores. Moreira (2000, p.10).

Com isso, a utilização de materiais como artigo científico, poesias, contos, etc e cuidadosamente selecionado, é um caminho facilitador de aprendizagem significativa crítica e representam muito melhor criação do conhecimento humano.

4 - Princípio do aprendiz como perceptor/representador.

A questão é que o aprendiz é um perceptor/representador, i.e., ele percebe o mundo e o representa. Quer dizer, tudo que o aluno recebe ele percebe. Portanto, a aprendizagem significativa crítica implica a percepção crítica e só pode ser facilitada se o aluno for, de fato, tratado como um perceptor do mundo e, portanto, do que lhe for ensinado, e a partir daí um representador do mundo, e do que lhe ensinamos. Moreira (2000, p.11).

5 - Princípio do conhecimento como linguagem.

“Aprendê-la de maneira crítica é perceber essa nova linguagem como uma nova maneira de perceber o mundo. (...) a aprendizagem da nova linguagem é mediada pelo intercâmbio de significados, pela clarificação de significados, enfim, pela negociação de significados que é feita através da linguagem humana. *Não existe nada entre seres humanos que não seja instigado, negociado, esclarecido, ou mistificado pela linguagem, incluindo nossas tentativas de adquirir conhecimento* (Postman, 1996, p. 123). A linguagem é a mediadora de toda a percepção humana. O que percebemos é inseparável de como falamos sobre o que abstraímos. Moreira (2000, p.12).

6 - Princípio da consciência semântica.

Este princípio facilitador da aprendizagem significativa crítica implica várias conscientizações. A primeira delas, e talvez a mais importante de todas, é tomar consciência de que o significado está nas pessoas, não nas palavras. A segunda conscientização, é a de que as palavras não são aquilo ao qual elas ostensivamente se referem. Outro tipo de consciência semântica necessária à aprendizagem significativa crítica é o de que, ao usarmos palavras para nomear as coisas, é preciso não deixar de perceber que os significados das palavras mudam.

7 - Princípio da aprendizagem pelo erro.

“(...)buscar sistematicamente o erro é pensar criticamente, é aprender a aprender, é aprender criticamente rejeitando certezas, encarando o erro como natural e aprendendo através de sua superação”. Moreira (2000, p.14).”

8 - Princípio da desaprendizagem

“Aprender a desaprender, é aprender a distinguir entre o relevante e o irrelevante no conhecimento prévio e libertar-se do irrelevante, i.e., desaprendê-lo”. Aprendizagem desse tipo é aprendizagem significativa crítica. Sua facilitação deveria ser missão da escola na sociedade tecnológica contemporânea. Moreira (2000, p.16)

9 - Princípio da incerteza do conhecimento

O princípio da incerteza do conhecimento nos chama atenção que nossa visão de mundo é construída primordialmente com as definições que criamos, com as perguntas que formulamos e com as metáforas que utilizamos. Naturalmente, estes três elementos estão inter-relacionados na linguagem humana. Moreira (2000, p.17)

10 - Princípio da não utilização do quadro-de-giz. Da participação ativa do aluno. Da diversidade de estratégias de ensino.

O uso de distintas estratégias instrucionais que impliquem participação ativa do estudante e, de fato, promovam um ensino centralizado no aluno é fundamental para facilitar a aprendizagem significativa crítica. Não é preciso buscar estratégias sofisticadas. A não utilização do quadro-de-giz leva naturalmente ao uso de atividades colaborativas, seminários, projetos, pesquisas, discussões, painéis, enfim, a diversas estratégias, as quais devem ter subjacentes os demais princípios. Na verdade, o uso dessas estratégias de ensino facilita tanto a implementação dos demais princípios em sala de aula como a atividade mediadora do professor. Moreira (2000, p.18)

11 - Princípio do abandono da narrativa. De deixar o aluno falar.

Ensino centrado no aluno tendo o professor como mediador é ensino em que o aluno fala mais e o professor fala menos. Deixar o aluno falar implica usar estratégias nas quais os alunos possam discutir, negociar significados entre si, apresentar oralmente ao grande grupo o produto de suas atividades colaborativas, receber e fazer críticas. O aluno tem que ser ativo, não passivo. Ela ou ele tem que aprender a interpretar, a negociar significados, tem que aprender a ser crítico e a aceitar a crítica. Aceitar acriticamente a narrativa do “bom professor” não leva a uma aprendizagem significativa crítica, a uma aprendizagem relevante, de longa duração; não leva ao aprender a aprender. Moreira (2000, p.19)

4 ÓPTICA GEOMÉTRICA

Nessa seção discorreremos sobre os temas da física, especificamente sobre os conteúdos da óptica geométrica, relacionando os subtemas: conceitos básicos, propagação da luz, interação da luz como meio, as leis da reflexão e refração como também a dispersão da luz.

4.1 Natureza da luz

Antes do início do século XIX, a luz era considerada um fluxo de partículas que eram emitido por um objeto observado ou emanado dos olhos do observador. Newton, principal arquiteto do modelo de partículas de luz, afirmou que estas eram emitida por uma fonte de luz e que estimulou o sentido da visão ao entrar os olhos do observador. Com essa ideia ele conseguiu explicar a reflexão e a refração. (Serway; Jewett, 2019).

A maioria dos cientistas aceitou esta teoria. De qualquer forma, durante a sua vida, Newton teve outra ideia que sustentava que a luz poderia ser uma espécie de movimento ondulatório. Em 1678, o físico e astrônomo holandês Christian Huygens mostrou que uma teoria ondulatória da luz também poderia explicar a reflexão e refração.

Em 1801, Thomas Young (1773-1829) deu a primeira demonstração clara do caráter ondulatório da luz. Ele mostrou que, sob condições apropriadas, os raios a luz interfere entre si de acordo com o modelo de interferência de ondas, como acontece com as ondas mecânicas (capítulo 17). Tal comportamento não poderia ser explicado naquela época por uma teoria das partículas porque não havia maneira imaginável pela qual duas ou mais partículas poderiam se unir e se cancelar. Desenvolvimentos adicionais durante o século XIX levaram à aceitação geral do modelo ondulatório da luz, resultado mais importante do trabalho de Maxwell, que em 1873 ele afirmou que a luz era uma forma de onda eletromagnética de alta frequência. Hertz proporcionou informações experimentais sobre a teoria de Maxwell em 1887, produzindo e detectando ondas eletromagnéticas (Serway; Jewett, 2019).

Estes resultados representam informações convincentes de que a luz tem um natureza ondulatória, e os cientistas aceitaram a natureza ondulatória da luz. Surpreendentemente, no início do século XX, novas experiências indicaram que a luz

também tem uma natureza de partículas. As partículas de luz são chamadas de fótons. Começaremos examinando como a velocidade da luz foi medida historicamente.

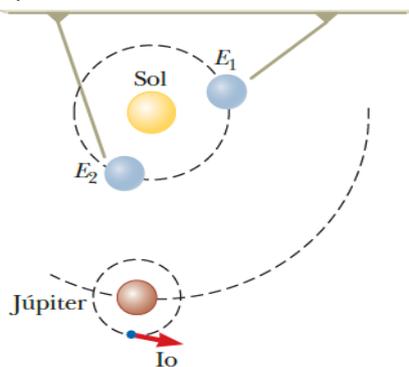
A luz viaja com uma velocidade tão alta ($c = 3,0 \times 10^8$ m/s) que as primeiras tentativas de medição falharam. Galileu tentou medi-la colocando dois observadores em torres distantes aproximadamente 10 km. Cada observador levava uma lanterna de persiana. Um observador abria primeiro e depois o outro o fazia no momento de ver a luz. Galileu explicou que, se soubesse o tempo de trânsito dos raios de luz de uma lanterna para a outra e a distância entre as duas lanternas, poderia obter a velocidade. Seus resultados foram inconclusivos. Atualmente (como concluiu Galileu) sabe-se que é impossível medir a velocidade da luz desta forma porque o tempo de trânsito é muito menor que o tempo de reação dos observadores. Vejamos dois métodos posteriores que tiveram mais sucesso (Serway; Jewett, 2019).

4.1.1 Método de Roemer

Em 1675, o astrônomo dinamarquês Ole Roemer (1644-1710) fez a primeira estimativa bem-sucedida da velocidade da luz. Observações intervieram na técnica de Roemer observações astronômicas de uma das luas de Júpiter, Io, que tem um período de revolução ao redor do planeta aproximadamente 42,5 h. O período é medido observando Eclipses de Io enquanto orbita Júpiter (Serway; Jewett, 2019).

Um observador que usasse o movimento orbital de Io como relógio esperaria que a órbita tinha um período constante. No entanto, Roemer, após coletar dados por

Figura 4.1: Quando a Terra está longe de Júpiter como na posição E1, os eclipses de Io aparecem tarde. Quando a Terra está em posições como E2, os eclipses aparecem mais cedo.



Fonte: Serway; Jewett, 2019

mais de um ano, observou uma variação sistemática no período de Io. Descoberto que os eclipses ocorreram mais tarde que a média quando a Terra estava em uma posição em sua órbita como E1 na Figura 4.1 no lado oposto do Sol de Júpiter e longe disso, e antes da média quando a Terra estava no mesmo lado do Sol como Júpiter e mais próximo dele como na posição E2. Roemer atribuiu esta variação no período observado para o intervalo de tempo extra necessário para que a luz que representa o eclipse viaje através do diâmetro da órbita da Terra.

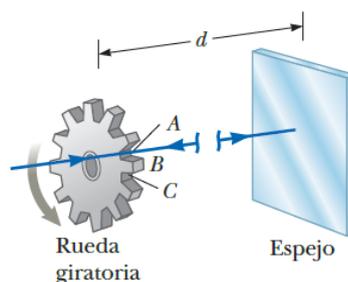
Usando os dados de Roemer, Huygens estimou que o limite inferior de velocidade de luz era de aproximadamente $2,3 \times 10^8$ m/s. Este experimento é importante historicamente porque ele demonstrou que a luz tem uma velocidade finita e forneceu uma estimativa dessa velocidade (Serway; Jewett, 2019).

4.1.2 Método de Fizeau

O primeiro método bem sucedido para medir a velocidade da luz através de técnicas puramente terrestres foi aperfeiçoado em 1849 pelo físico francês Armand H. L. Fizeau (1819-1896). A Figura 4.2 representa um diagrama simplificado do aparelho de Fizeau. O procedimento básico é medir o intervalo de tempo total durante o qual a luz viaja de um determinado ponto até um espelho distante e vice-versa. Se d é a distância entre a fonte de luz (considerada na posição da roda) e o espelho, e se o intervalo de tempo para uma viagem de ida e volta é Δt , a velocidade da luz é $c = 2d/\Delta t$.

Para medir o tempo de trânsito, Fizeau usou uma roda dentada rotativa, que Ele converte um feixe contínuo de luz em uma série de pulsos de luz. Portanto, a roda atua como fonte de luz e define uma extremidade da distância d . O observador olha através dos dentes e determina se a luz refletida é visível ou não. Por exemplo, sim o pulso que viaja em direção ao espelho passa pela abertura no ponto A na figura 4.2 retorna à roda no instante em que o dente B girou para a posição cobrir o caminho de retorno, o pulso não alcançaria o observador. Mais rápido de rotação, a abertura no ponto C poderia ser movida para a posição para permitir que o pulso refletido chegue ao observador. Conhecendo a distância d , o número de dentes da roda e sua velocidade angular, Fizeau chegou ao valor de $3,1 \times 10^8$ m/s. Medições semelhantes feitas por outros pesquisadores forneceram valores mais precisos para c , o que levou ao valor atualmente aceito de $2.997.924 58 \times 10^8$ m/s (Serway; Jewett, 2019).

Figura 4.2: Método Fizeau para medir a velocidade da luz por meio de uma roda dentada giratória. A fonte de luz considerada está na posição de roda; Portanto, a distância d é conhecida.



Fonte: Serway; Jewett, 2019

4.2 Propagação retilínea da luz

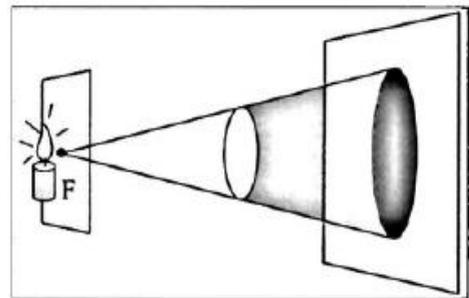
Num meio homogêneo, como o ar dentro de uma sala ou o espaço interestelar, a luz se propaga em linha reta. Isso é particularmente reconhecível quando a fonte de luz é “puntiforme”, ou seja, de dimensões desprezíveis em confronto com as demais que entram na observação: um exemplo é um buraquinho de alfinete iluminado, num anteparo opaco (Nussenzveig, 2014).

Nesse caso, um obstáculo opaco iluminado pela fonte F puntiforme projeta uma *sombra* de contornos bem nítidos, definidos pela propagação retilínea Figura 4.3.

Analogamente, numa *câmara escura* Figura 4.4, forma-se uma imagem (invertida) de um objeto, representando uma forma primitiva de aparelho fotográfico (Nussenzveig, 2014).

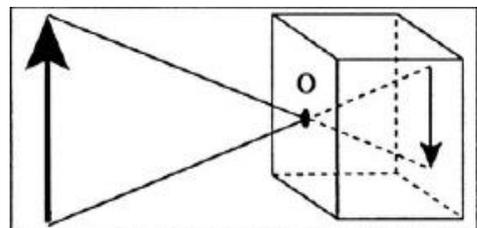
Um feixe cônico de luz de abertura muito pequena chama-se um *pinxel* de raios luminosos, e no limite idealizado em que a abertura tende a zero tem-se um *raio* de luz, uma linha reta num meio homogêneo. Na teoria corpuscular, um raio representa a trajetória de um corpúsculo de luz. Para a teoria ondulatória, a propagação retilínea da luz parece difícil de explicar, como foi observado por Newton. (Nussenzveig, 2014).

Figura 4.3: Propagação retilínea da luz



Fonte: Nussenzveig, 2014, p. 13.

Figura 4.4: Câmara escura



Fonte: Nussenzveig, 2014, p. 13.

4.3 Reflexão e refração

Nesta seção, usaremos o modelo de *raios* luminosos para estudar dois dos aspectos mais importantes da propagação da luz: a **reflexão** e a **refração**. Quando uma onda de luz atinge uma superfície lisa separando dois meios transparentes (como o ar e o vidro ou a água e o vidro), em geral a onda é parcialmente *refletida* e parcialmente *refratada* (transmitida) para o outro material, como mostra a **Figura 4.5a**. Por exemplo, quando você está na rua e olha para o interior de um restaurante através de uma janela de vidro, você observa o reflexo de alguma cena da rua; porém, uma

pessoa que está no interior do restaurante pode olhar para fora e ver a mesma cena, já que a luz atinge a pessoa pela refração (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

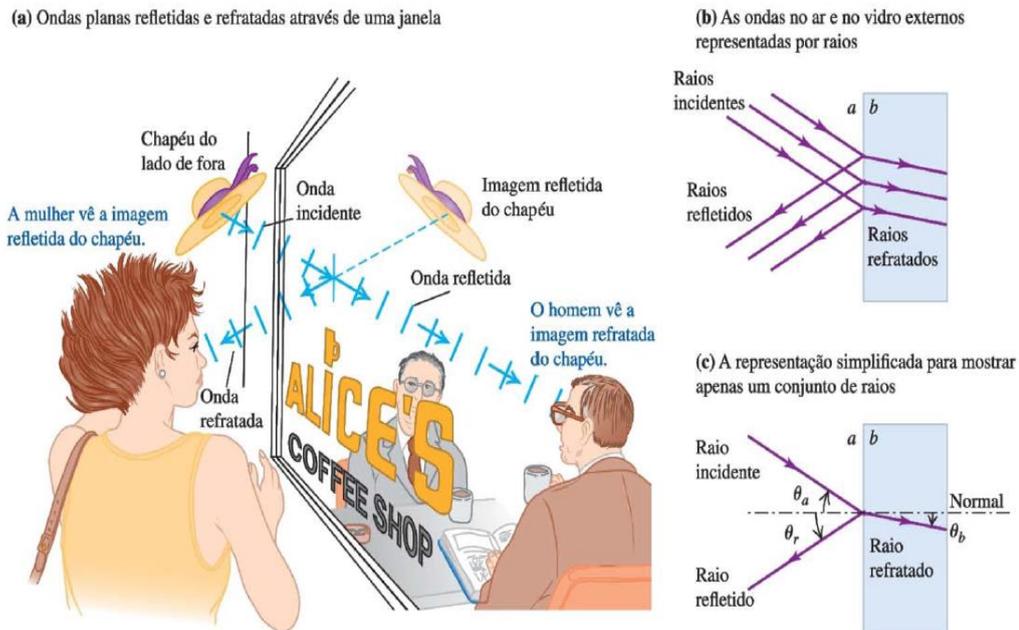
Os segmentos de ondas planas indicados na Figura 4.5a podem ser representados por conjuntos de raios que *formam* feixes de luz Figura 4.5b. Para simplificar, geralmente desenhamos somente um raio para cada feixe Figura 4.5c. A representação dessas ondas por meio de raios é a base da ótica geométrica. Começamos nosso estudo mostrando o comportamento de um único raio (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Descrevemos as direções dos raios incidentes, refletidos e refratados (transmitidos) em uma interface lisa separando dois meios transparentes em relação aos ângulos que esses raios formam com a *normal* (perpendicular) à superfície no ponto de incidência, como mostra a Figura 4.5c. Quando a superfície é rugosa, os raios transmitidos e refletidos são espalhados em diversas direções e não existe um único ângulo de reflexão ou de refração.

Dizemos que ocorre **reflexão especular** (da palavra em latim para "espelho") em uma superfície lisa quando existe um único ângulo de reflexão; quando os raios refletidos são espalhados em diversas direções em uma superfície rugosa, dizemos que ocorre **reflexão difusa (Figura 4.6)**. Esses dois tipos de reflexão ocorrem tanto no caso de materiais transparentes quanto no caso de materiais *opacos*, ou seja, aqueles que não transmitem luz. Quase todos os objetos ao nosso redor (como plantas, pessoas e este livro) tomam-se visíveis porque refletem a luz de maneira difusa em suas superfícies.

Contudo, vamos nos concentrar principalmente no estudo da reflexão especular em superfícies muito lisas, como vidros ou metais altamente polidos. A menos que se diga o contrário, sempre mencionaremos a palavra "reflexão" para nos referirmos à reflexão *especular* (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.5: (a) Uma onda plana é parcialmente refletida e parcialmente refratada na interface entre dois meios (neste caso, o ar e o vidro). (b), (c) Como a luz se comporta na interface entre o ar dentro do café (material a) e o vidro (material b).



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 4.

O **índice de refração** de um material ótico (também chamado de **índice refrativo**), designado pela letra n , desempenha um papel fundamental na ótica geométrica:

$$n = \frac{c}{v} \quad 4.1$$

onde:

n = Índice de Refração.

c = Velocidade da luz no vácuo.

v = Velocidade da luz no meio de propagação.

A luz sempre se propaga *mais lentamente* através de um material que no vácuo; portanto, o valor de n em qualquer meio material é sempre maior que 1. No vácuo, $n = 1$. Como n é a razão entre duas velocidades, ele é um número puro sem unidades (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

4.3.1 Leis da reflexão e da refração

Os estudos experimentais de reflexão e refração em uma interface lisa entre dois meios óticos conduziram às seguintes conclusões **Figura 4.7**:

1. **Os raios incidente, refletido e refratado e a normal à superfície no ponto de incidência estão sobre um mesmo plano.** Esse plano, chamado **plano de**

incidência, é perpendicular ao plano da interface entre os dois materiais. Sempre desenhamos diagramas de modo que os raios incidente, refletido e refratado estejam contidos no plano do diagrama.

2. **O ângulo de reflexão θ_r é igual ao ângulo de incidência θ_a para todos os comprimentos de onda e para qualquer par de materiais.** Ou seja, na Figura 4.5c,

$$\theta_r = \theta_a \quad 4.2$$

Essa relação, com a observação de que os raios incidente e refletido e a normal estão todos sobre o mesmo plano, constitui a chamada **lei da reflexão** (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

3. Para a luz monocromática e para um determinado par de materiais, a e b , em lados opostos da interface, **a razão entre o seno dos ângulos θ_a e θ_b , em que os dois ângulos são medidos a partir da normal à superfície, é igual ao inverso da razão entre os dois índices de refração:**

$$\frac{\sin \theta_a}{\sin \theta_b} = \frac{n_b}{n_a} \quad 4.3$$

OU

Lei da refração

$$n_a \cdot \sin \theta_a = n_b \cdot \sin \theta_b \quad 4.4$$

Figura 4.6: Dois tipos de reflexão

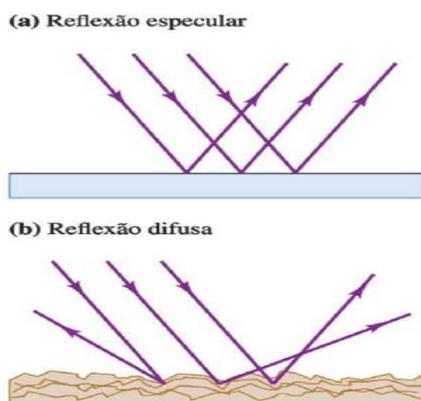
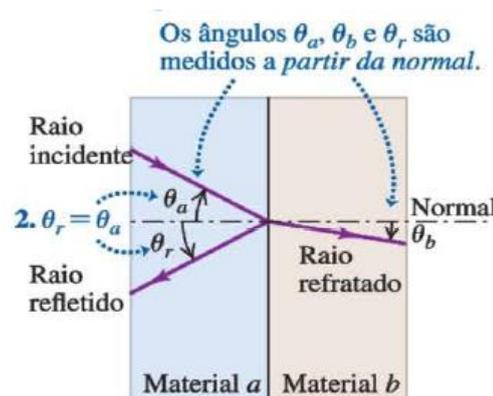


Figura 4.7: Leis de reflexão e refração



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 5.

Esse resultado, com a observação de que os raios incidente e refratado e a normal à superfície no ponto de incidência estão todos sobre o mesmo plano, constitui a chamada **lei da refração**, ou **lei de Snell**, em homenagem ao cientista holandês Willebrord Snell (1591-1626). Na verdade, essa lei foi descoberta no século X pelo cientista persa Ibn Sahl. A conclusão de que $n = c/v$ surgiu muito depois (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

As equações 4.3 e 4.4 mostram que, quando um raio passa de um material a para um material b que tenha um índice de refração maior ($n_b > n_a$) e, conseqüentemente, uma velocidade de onda menor, o ângulo θ_b com a normal no segundo material é menor que o ângulo θ_a com a normal no primeiro material; logo, o raio se desvia aproximando-se da normal (**Figura 4.8a**). Quando o segundo material possui índice de refração menor que o índice de refração do primeiro material ($n_b < n_a$) e, conseqüentemente, uma velocidade de onda maior, o raio se desvia afastando-se da normal (Figura 4.8b).

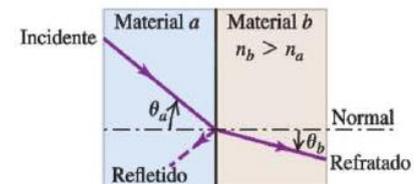
Qualquer que seja a natureza do material dos dois lados de uma interface, o raio transmitido não sofre nenhum desvio quando a incidência ocorre na direção da *normal* da interface (Figura 33.8c). Nesse caso, $\theta_a = 0$ e $\sin \theta_a = 0$; logo, pela Equação 4.4, θ_b também é igual a zero e o raio transmitido também é normal à interface. Como a Equação 4.2 mostra que θ_r também é igual a zero, o raio refletido volta pelo mesmo caminho do raio incidente (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

A lei da refração explica por que uma régua parcialmente submersa ou um canudo em um copo de suco parece dobrado; a luz proveniente da parte submersa muda de direção quando atravessa a interface ar-água, dando a impressão de que os raios estão vindo de uma posição acima de seu ponto de origem real (**Figura 4.9**).

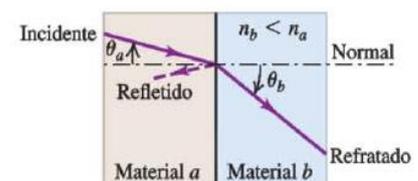
Um caso especial importante é a refração que ocorre na interface que separa um corpo do vácuo, em que o índice de refração é igual a 1 por definição. Quando um raio sai do vácuo e penetra em um material b , de modo que $n_a = 1$ e $n_b > 1$, o raio sempre se desvia *aproximando-se* da normal. Quando um raio sai de um material e passa a se propagar no vácuo, de modo que $n_a > 1$ e $n_b = 1$, o raio sempre se desvia *afastando-se* da normal (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.8: Reflexão e refração em três casos. (a) O material b possui um índice de refração maior que o material a . (b) O material b possui um índice de refração menor que o material a . (c) O raio luminoso incidente é normal à interface entre os materiais.

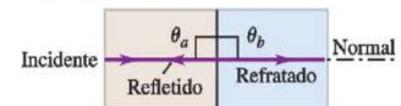
(a) Um raio entrando em um material de índice de refração *maior* se desvia *aproximando-se* da normal.



(b) Um raio entrando em um material de índice de refração *menor* se desvia *afastando-se* da normal.



(c) Um raio com a mesma orientação da normal não sofre desvio, independentemente dos materiais.



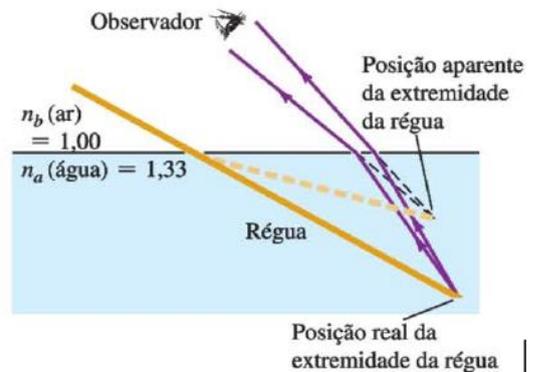
Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 6.

Figura 4.9: (a) Esta régua na verdade é retilínea, mas parece estar dobrada na superfície da água. (b) Os raios de luz provenientes de um objeto submerso se desviam da normal quando eles saem para o ar.

(a) Uma régua reta parcialmente imersa em água



(b) Por que a régua parece dobrada



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 6.

As leis da reflexão e da refração se aplicam independentemente do lado da interface de onde provém o raio incidente. Se um raio de luz se aproximar da interface ilustrada na Figura 4.8a ou na Figura 4.8b, vindo do lado direito em vez do esquerdo, novamente existirão raios refletidos e raios refratados; esses dois raios estão dispostos no mesmo plano como o raio incidente e a normal à superfície. Além disso, a trajetória seguida por um raio refratado é *reversível*; ou seja, quando vai de *a* para *b*, ele segue o mesmo caminho de *b* para *a*. (Você pode verificar essa afirmação usando a Equação 4.4.) Como o raio refletido forma com a normal o mesmo ângulo do raio incidente, a trajetória do raio refletido também é reversível. É por isso que, quando você vê os olhos de uma pessoa em um espelho, ela também vê você (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

4.3.2 Reflexão interna total

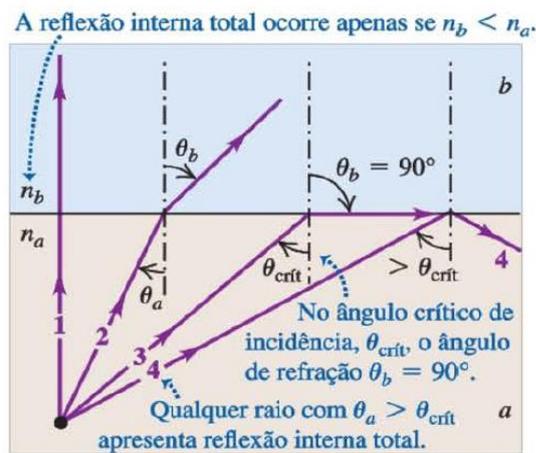
Descrevemos como a luz é parcialmente refletida e transmitida em uma interface entre dois materiais com índices de refração diferentes. Contudo, em certas circunstâncias, a luz pode ser totalmente refletida de uma interface e nenhuma luz ser transmitida, mesmo quando o segundo material é transparente. A **Figura 4.10a** mostra como isso pode ocorrer. A figura contém diversos raios que emanam de uma fonte puntiforme no seio de um material a com índice de refração n_a . Os raios incidem sobre a superfície de outro material b com índice de refração n_b , sendo $n_a > n_b$. (Por exemplo, o material a pode ser a água e o material b, o ar.) De acordo com a lei de Snell da refração,

$$\sin \theta_b = \frac{n_a}{n_b} \sin \theta_a$$

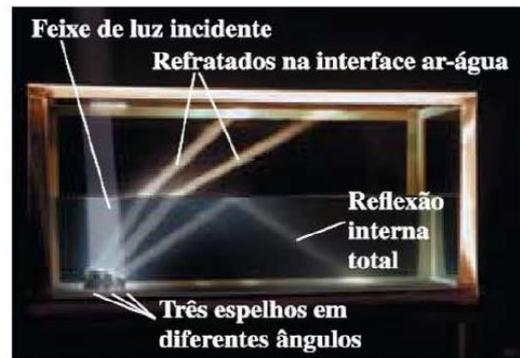
Como n_a/n_b é maior do que 1, $\sin \theta_b$ é maior do que $\sin \theta_a$; o raio é desviado e se afasta da normal. Logo, deve existir algum valor de θ_a menor do que 90° para o qual a lei de Snell forneça $\sin \theta_b = 1$ e $\theta_b = 90^\circ$. Isso ocorre com o raio 3 mostrado no diagrama, que emerge tangenciando a superfície com um ângulo de refração de 90° . Compare o diagrama da Figura 4.10a com a fotografia dos raios na Figura 4.10b (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.10: (a) Reflexão interna total. (b) Raios de um laser entram na água de um aquário vindos de cima.

(a) Reflexão interna total



(b) Um feixe de luz entra na parte superior esquerda do aquário e, depois, reflete na parte inferior dos espelhos inclinados em diferentes ângulos. Um feixe sofre reflexão interna total na interface ar-água.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 10.

O **ângulo crítico** é o valor mínimo do ângulo de incidência dentro de um meio para o qual a luz é completamente refletida. Quando o feixe luminoso for inclinado além de um certo ângulo crítico (48° com a normal à superfície da água), você notará que toda a luz é refletida de volta para o aquário. Isso é denominado **reflexão interna total**. A luz incidente na superfície ar-água obedece às leis da reflexão: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. A única luz que emerge da superfície da água é aquela que foi refletida de forma difusa no fundo da banheira. Este procedimento está mostrado na Figura 4.10b. A proporção de luz refratada e refletida internamente é indicada pelos comprimentos relativos das flechas (Hewitt, 2015).

Se o ângulo de incidência fosse maior que o ângulo crítico, o seno do ângulo de refração, $\sin \theta_b$, seria maior que 1, o que é impossível. Para qualquer ângulo maior que o ângulo crítico, nenhum raio pode passar para o material existente na parte superior; nesse caso, o raio fica retido no material da parte inferior, sendo completamente refletido na interface entre os dois materiais. Essa situação, chamada

de **reflexão interna total**, ocorre somente quando um raio proveniente de um material \underline{a} incide sobre a interface que o separa de um segundo material \underline{b} cujo índice de refração é menor que o índice de refração do primeiro (ou seja, $n_b < n_a$) (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

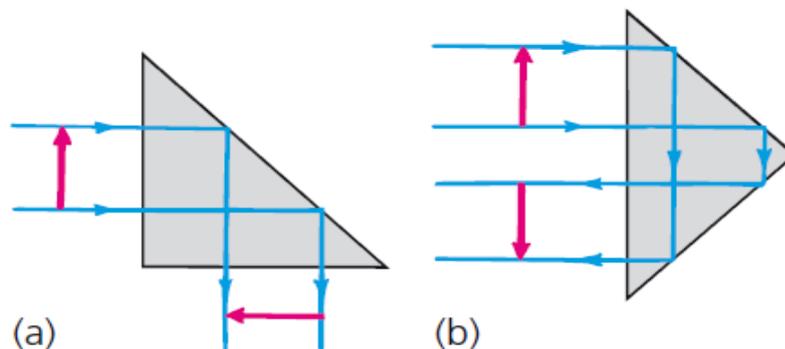
Podemos encontrar o ângulo crítico para dois materiais específicos \underline{a} e \underline{b} fazendo $\theta_b = 90^\circ$ ($\sin \theta_b = 1$) na lei de Snell. Obtemos

$$\sin \theta_{crit} = \frac{n_b}{n_a} \quad 4.5$$

Ocorre reflexão interna total sempre que o ângulo de incidência θ_a é igual ou superior ao ângulo crítico θ_{crit} .

A reflexão interna total ocorre em vidro circundado por ar, pois a rapidez de propagação da luz no vidro é menor do que no ar. O ângulo crítico para o vidro é cerca de 43° , dependendo do tipo de vidro. Assim, a luz interior ao vidro, que incide nele formando ângulos superiores a 43° com a superfície, é refletida por completo internamente. Nenhuma luz escapa além desse valor de ângulo; em vez disso, toda ela é refletida para o interior do vidro – mesmo que a superfície externa contenha sujeira ou poeira, daí a utilidade dos prismas de vidro (Figura 4.11). Um pouco de luz é perdido na reflexão, antes de penetrar no vidro do prisma, mas uma vez ali estando, a reflexão com a face cortada em 45° é total – 100%. Em comparação, espelhos prateados ou aluminizados refletem apenas cerca de 90% da luz incidente, daí o uso de prismas no lugar de espelhos em muitos instrumentos ópticos. (Hewitt, 2015).

Figura 4.11: Reflexão interna total em um prisma. O prisma altera a direção do feixe luminoso (a) em 90° , (b) em 180° .



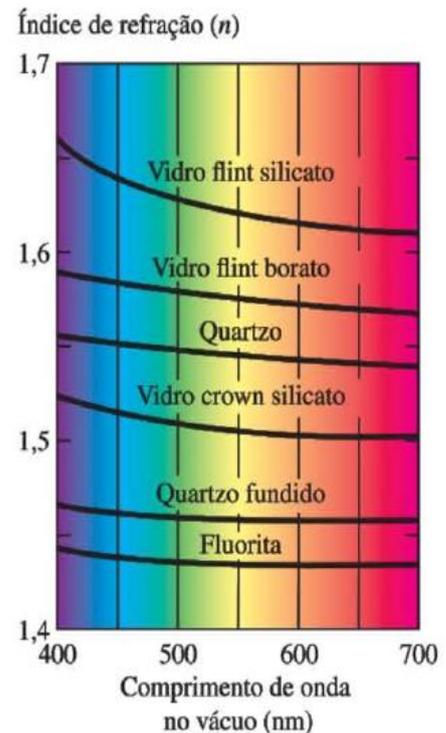
Fonte: Hewitt, 2015, p. 532.

4.4 Dispersão

A luz branca comum é uma superposição de ondas cujos comprimentos abrangem todo o espectro visível. A velocidade da luz no *vácuo* é a mesma para todos os comprimentos de onda, mas, no interior de um material, ela varia com o comprimento de onda. Portanto, o índice de refração de um material depende do comprimento de onda. **A dispersão** indica como a velocidade da onda e o índice de refração dependem do comprimento de onda.

A Figura 4.12 mostra como o índice de refração n varia com o comprimento de onda para alguns materiais comumente usados na ótica. Observe que o eixo horizontal refere-se ao comprimento de onda λ_0 da luz *no vácuo*; o comprimento de onda em dado material pode ser obtido pela Equação $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$. Em quase todos os materiais, o valor de n *diminui* quando o comprimento de onda aumenta e a frequência diminui, e portanto n *aumenta* quando o comprimento de onda diminui ou a frequência aumenta. Nesses materiais, a luz que possui comprimento de onda maior se desloca com velocidade superior à que possui comprimento de onda menor. (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.12: Variação do índice de refração n em função do comprimento de onda para alguns materiais transparentes. O eixo horizontal mostra o comprimento de onda λ_0 da luz no vácuo; o comprimento de onda no material é dado por $\lambda = \lambda_0/n$.



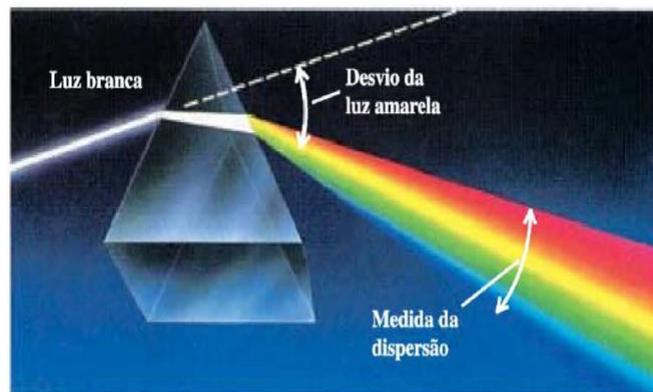
Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 13.

A Figura 4.13 mostra um feixe de luz branca que incide sobre um prisma. O desvio (mudança de direção) produzido pelo prisma se eleva com o aumento do índice de refração e frequência e com a diminuição do comprimento de onda. Assim, a luz violeta sofre o maior desvio e a luz vermelha é a que se desvia menos; as demais cores sofrem desvios entre esses dois extremos. Quando a luz emerge do prisma, ela se espalha e as cores são separadas. Dizemos que a luz sofre *dispersão* e forma um espectro. A quantidade de dispersão depende da *diferença* entre o índice de refração

da luz violeta e o índice de refração da luz vermelha. Na Figura 4.12, notamos que, em uma substância como a fluorita, que possui uma diferença pequena entre o índice de refração da luz violeta e o índice de refração da luz vermelha, a dispersão também é pequena. Se você deseja escolher um material, entre os indicados na figura, para fazer um prisma que produza uma grande dispersão, o melhor é o vidro Flint silicato, que apresenta a maior diferença entre os valores de n do vermelho e do violeta. (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

O brilho do diamante é produzido, em parte, por seu elevado índice de refração; outro fator importante é sua grande dispersão, que permite que a luz branca saia do diamante formando um espectro multicolorido. Os cristais de rutilo e de titanato de estrôncio, que podem ser produzidos sinteticamente, apresentam uma dispersão oito vezes maior que a do diamante.

Figura 4.13: Dispersão da luz por um prisma. A faixa de cores é chamada de espectro.



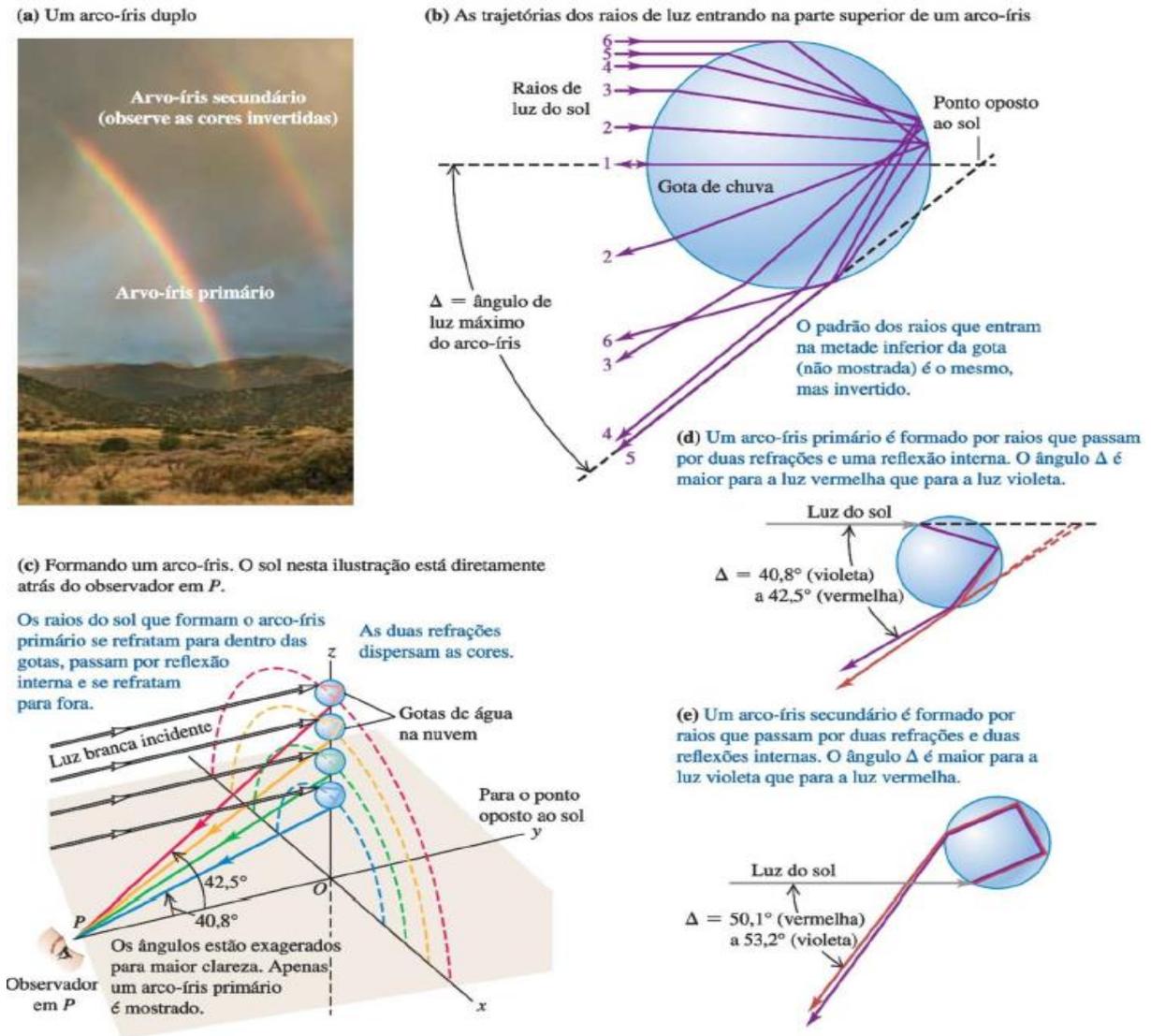
Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 13.

4.4.1 Arco-íris.

Ao apreciar a beleza de um arco-íris, você está vendo os efeitos combinados de dispersão, refração e reflexão (**Figura 4.14a**). O sol está atrás do observador e entra em uma gotícula de água; a seguir, ela é (parcialmente) refletida na superfície de trás da gotícula e finalmente refratada, saindo da gotícula (Figura 4.14b). Um raio de luz que entra no meio da gota é refletido diretamente sobre si mesmo. Todos os outros raios saem da gotícula formando um ângulo d com esse raio central, com muitos raios acumulando-se no ângulo d . O que você vê é um disco de luz de raio Ao apreciar a beleza de um arco-íris, você está vendo os efeitos combinados de dispersão, refração e reflexão (**Figura 4.14a**). O sol está atrás do observador e entra em uma gotícula de água; a seguir, ela é (parcialmente) refletida na superfície de trás

da gotícula e finalmente refratada, saindo da gotícula (Figura 4.14b). Um raio de luz que entra no meio da gota é refletido diretamente sobre si mesmo. Todos os outros raios saem da gotícula formando um ângulo Δ com esse raio central, com muitos raios acumulando-se no ângulo Δ . (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.14: Como os arco-íris são formados.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 14.

Como nenhuma luz chega aos seus olhos a partir de ângulos maiores que Δ , o céu parece mais escuro ao redor do arco-íris (veja a Figura 4.14a). O valor do ângulo depende do índice de refração da água que compõe as gotículas, que, por sua vez, depende do comprimento de onda (Figura 4.14d). O disco brilhante de luz vermelha é ligeiramente maior que o da luz laranja, que, por sua vez, é ligeiramente maior que o da luz amarela, e assim por diante. Em consequência, você vê o arco-íris como uma faixa de cores.

Muitas vezes você vê um segundo arco-íris, ligeiramente maior. Ele é o resultado da dispersão, da refração e de *duas* reflexões que ocorrem na parte interna posterior da gotícula (Figura 4.14e). Sempre que um raio de luz atinge a superfície posterior, parte da luz é refratada para fora da gota (não mostrado na Figura 4.14); depois de dois raios desse tipo, pouca luz sobra dentro da gota. Essa é a razão pela qual o arco-íris secundário é mais fraco que o primário. Assim como um espelho diante de um livro inverte as letras impressas, a segunda reflexão inverte a sequência de cores no arco-íris secundário. Você pode ver esse efeito na Figura 4.14^a. (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

4.5 Reflexão e refração em uma superfície plana

Antes de discutir o que significa uma imagem, inicialmente precisaremos do conceito de **objeto** empregado na ótica. Chamamos de objeto qualquer coisa da qual emanem raios de luz. Quando a luz é emitida pelo próprio objeto, dizemos que ele possui luz própria - por exemplo, o filamento de uma lâmpada comum. Alternativamente, depois de emitida por uma fonte (como o sol ou uma lâmpada), a luz se reflete no objeto; por exemplo, quando você lê este livro, a luz é refletida pelas páginas do livro. A **Figura 4.15** mostra raios de luz irradiados em todas as direções por um objeto situado no ponto P. Note que os raios que partem do objeto chegam aos olhos direito e esquerdo do observador formando ângulos diferentes; a diferença entre os dois ângulos é processada no cérebro do observador para obter uma estimativa da distância entre o observador e o objeto (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

O objeto na Figura 4.15 denomina-se **objeto pontual** e é representado por um ponto que não possui nenhuma dimensão. Os objetos reais, que possuem comprimento, largura e altura, são chamados de **objetos extensos**.

De acordo com a lei da reflexão, para todo raio que atinge a superfície, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Como a superfície é plana, a normal é sempre perpendicular à superfície em todos os seus pontos e a reflexão é especular. Após os raios serem refletidos, suas direções são iguais, como se tivessem vindo do ponto P'. Chamamos o ponto P de ponto objeto e o ponto P' correspondente denomina-se ponto imagem; dizemos então que a superfície refletora forma uma **imagem** do ponto P. Um observador que esteja vendo apenas os raios refletidos pela

superfície e que não sabe que está vendo uma reflexão pensa que os raios estão emanando do ponto onde se forma a imagem P' . O ponto imagem é, portanto, um modo conveniente de descrever as direções dos diversos raios refletidos, assim como o ponto objeto P descreve as direções dos raios que atingem a superfície antes da reflexão (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Se a superfície na Figura 4.16 não fosse lisa, a reflexão seria difusa e os raios refletidos de diversos pontos da superfície tomariam direções diferentes (veja a Figura 4.6b). Nesse caso, não haveria a formação de um ponto imagem P' do qual os raios parecem vir. Ao olhar para uma superfície metálica comum, você não consegue ver sua imagem refletida porque essa superfície geralmente é rugosa; fazendo o polimento do metal, você alisa a superfície de modo que a reflexão especular se torna possível e a imagem refletida se torna visível.

Na verdade, quando o espelho da Figura 4.16 é opaco, não existe absolutamente nenhuma luz em seu lado direito. Quando os raios emergentes não passam efetivamente no local onde se encontra o objeto, dizemos que se forma uma **imagem virtual**. Mais adiante analisaremos casos em que os raios passam efetivamente pelo ponto imagem - dizemos que se forma uma **imagem real**. As imagens que se formam sobre uma tela de cinema, sobre a película de uma câmera e sobre as retinas dos seus olhos são exemplos de imagens reais (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.15: Raios de luz irradiados em todas as direções por um objeto situado no ponto P .

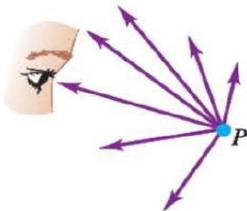
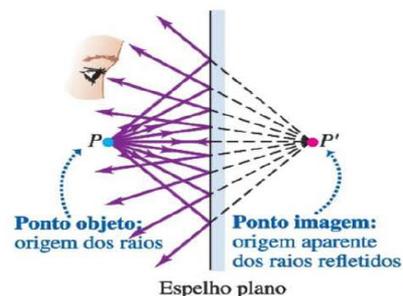


Figura 4.16: Raios de luz vindos do objeto no ponto P são refletidos em um espelho plano.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 39.

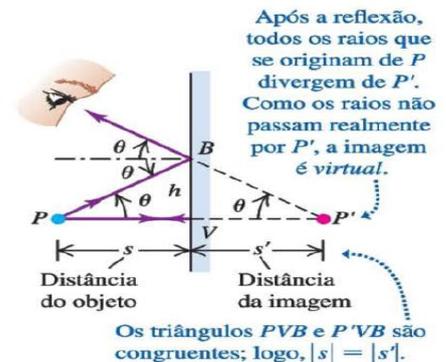
4.5.1 Formação da imagem em um espelho plano

Para localizar a imagem virtual P' que um espelho plano forma de um objeto P , usaremos a construção mostrada na **Figura 4.17**. A figura mostra dois raios divergindo a partir de um ponto objeto P situado a uma distância s à esquerda de um espelho

plano. Chamaremos \underline{s} de **distância do objeto**. O raio PV é perpendicular à superfície do espelho e retoma na mesma direção do raio original.

O raio PB forma um ângulo θ com o PV . Ele atinge o espelho plano com um ângulo de incidência θ e se reflete formando o mesmo ângulo com a normal. Prolongando os dois raios refletidos para trás do espelho, eles se cruzam em um ponto P' , situado a uma distância \underline{s}' atrás do espelho. Chamaremos \underline{s}' de **distância da imagem**. A linha entre P e P' é perpendicular ao espelho. Os dois triângulos PVB e $P'VB$ são congruentes, de modo que P e P' possuem distâncias iguais até o espelho e, portanto, \underline{s} e \underline{s}' possuem módulos iguais. A distância entre o espelho e a imagem P' formada *atrás* dele é exatamente igual à distância na frente dele entre o objeto P e a superfície do espelho.

Figura 4.17: Construção para determinar o local da imagem formada por um espelho plano.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 40.

4.5.2 Regras de sinais

Antes de prosseguir, vamos introduzir algumas regras de sinais. Elas podem parecer desnecessariamente complicadas para o caso simples da imagem formada por um espelho plano, mas desejamos formular essas regras de modo que possam ser aplicadas para *quaisquer* situações que sejam encontradas mais adiante. Essas situações incluem a formação de imagens por uma superfície refletora ou refratora plana ou esférica ou por um par de superfícies refratoras formando uma lente. As regras são:

- 1. Regra do sinal para a distância do objeto:** quando o objeto está no mesmo lado da luz que incide sobre a superfície refletora ou refratora, a distância do objeto s é positiva; caso contrário, é negativa.
- 2. Regra do sinal para a distância da imagem:** quando a imagem está no mesmo lado da luz que emerge da superfície refletora ou refratora, a distância da imagem \underline{s}' é positiva; caso contrário, é negativa.
- 3. Regra do sinal para o raio de curvatura de uma superfície esférica:** quando o centro de curvatura C está no mesmo lado da luz que emerge da superfície refletora ou refratora, o raio de curvatura é positivo; caso contrário, é negativo.

Para uma superfície refletora ou refratora plana, os raios de curvatura são infinitos e, portanto, não fornecem qualquer informação útil; nesses casos, na verdade, não necessitamos da terceira regra. Porém, mais adiante, veremos que essa regra será extremamente útil quando estudarmos a formação de imagens no caso de interfaces *curvas* que refletem ou refratam a luz.

4.5.3 Imagem de um objeto extenso: espelho plano

Vamos agora considerar um objeto extenso com um tamanho definido. Para simplificar, geralmente tomamos um objeto que possui apenas uma dimensão, como uma seta estreita orientada paralelamente à superfície refletora, como a seta PQ na **Figura 4.18**. A distância entre o ponto inicial e a extremidade da seta orientada desse modo é sua altura; na Figura 4.18, a altura é y . A imagem formada por esse objeto extenso é uma imagem extensa; cada ponto do objeto corresponde a um ponto na imagem. Mostramos dois raios provenientes do ponto Q ; parece que *todos* os raios provenientes de Q divergem do ponto imagem Q' depois da reflexão. A imagem da seta é o segmento $P'Q'$, com altura y' . Os outros pontos do objeto PQ possuem imagens entre os pontos P' e Q' . Os triângulos PQV e $P'Q'V$ são congruentes, de modo que PQ possui as mesmas dimensão e orientação da imagem $P'Q'$, logo $y = y'$.

A razão entre a altura da imagem e a altura do objeto, y'/y , em *qualquer* situação de formação de imagem, denomina-se **ampliação transversal** m ; ou seja,

$$m = \frac{y'}{y} \quad 4.6$$

onde:

m = Amplitude lateral.

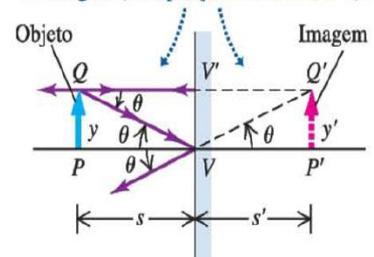
y' = Altura da imagem.

y = Altura do objeto.

O objeto mostrado na Figura 2.18 possui apenas uma dimensão. A **Figura 4.19** mostra um objeto em *três* dimensões formando uma imagem virtual tridimensional em um espelho plano. O senti.do aparente da imagem está relacionado com o senti.do do objeto do mesmo modo que a mão esquerda está relacionada com a mão direita.

Figura 4.18: Construção para determinar a altura da imagem formada por reflexão em uma superfície plana.

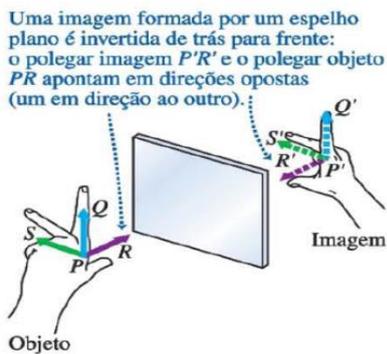
Para um espelho plano, PQV e $P'Q'V$ são congruentes, de modo que $y = y'$ e o objeto possui o mesmo tamanho da imagem (a ampliação transversal é 1).



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 41.

A imagem invertida formada por um espelho plano de um objeto em três dimensões possui o mesmo *tamanho* do objeto em todas as dimensões. Quando as dimensões transversais do objeto e da imagem estão na mesma direção, a imagem é direita. Portanto, um espelho plano sempre forma uma imagem direita, porém invertida. A **Figura 4.20** fornece um exemplo disso.

Figura 4.19: A imagem formada por um espelho plano é virtual, direita, invertida.



Objeto
Imagem
Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 41.

Figura 4.20: A imagem formada por um espelho plano é invertida; a imagem de uma mão direita é uma mão esquerda e assim por diante.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 42.

4.6 Reflexão em uma superfície esférica

Um espelho plano produz uma imagem do mesmo tamanho do objeto. Porém, existem muitas aplicações para as quais as imagens e os objetos devem possuir tamanhos diferentes. Os espelhos de maquiagem geram uma imagem *maior* que a do objeto, e os espelhos de monitoramento (usados no interior de lojas para observar eventuais furtos) produzem uma imagem *menor* que a do objeto. Existem também algumas aplicações de espelhos nas quais se busca obter uma imagem *real*, de modo que a luz passe efetivamente pelo ponto imagem P' . Um espelho plano não serve para realizar nenhuma dessas tarefas. Somente espelhos *curvos* podem ser usados nessas aplicações. (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

4.6.1 Imagem de um objeto pontual: espelho esférico

Vamos considerar o caso especial (e facilmente analisado) da formação da imagem de um espelho *esférico*. A **Figura 4.21a** mostra um espelho esférico com raio de curvatura R , com o lado côncavo voltado para a luz incidente. O **centro de curvatura** da superfície (o centro da esfera da qual o espelho é uma parte) é o ponto C , e o **vértice** do espelho (o centro da superfície refletora) é o ponto V . A linha CV

denomina-se **eixo óptico**. O ponto P é um ponto objeto situado sobre o eixo óptico; por enquanto, vamos considerar que a distância entre P e V é maior que R .

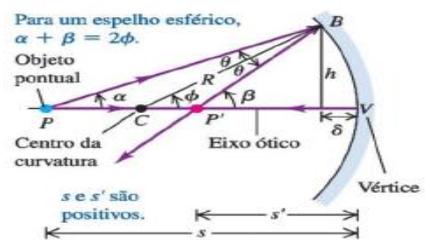
O raio PV , que passa pelo ponto C , atinge o espelho perpendicularmente e é refletido de volta na mesma direção. O raio PB , que forma um ângulo α com o eixo, atinge o espelho no ponto B , onde os ângulos de incidência e de reflexão são designados por θ . O raio refletido intercepta o eixo no ponto P' . Mostraremos de modo breve que *todos* os raios provenientes de P interceptam o eixo no *mesmo* ponto P' , como na Figura 4.21b, desde que o ângulo α seja pequeno. O ponto P' é, portanto, a imagem do ponto objeto P . Diferentemente dos raios refletidos indicados na Figura 4.15, os raios na Figura 4.21b realmente se interceptam no ponto P' , depois divergem de P' como se tivessem origem nesse ponto. Logo, P' é uma imagem real.

Para entender a utilidade da formação de uma imagem real, suponha que o espelho esteja em uma sala escura na qual a única fonte de luz seja um objeto no ponto P que emite luz própria. Se você colocar uma pequena película fotográfica no ponto P' , todos os raios de luz provenientes do ponto P que se refletem no espelho irão se interceptar no mesmo ponto P' sobre a película; quando for revelado, o filme mostrará um ponto brilhante que representa a imagem focalizada do objeto situado no ponto P . Esse princípio é a base do funcionamento de muitos telescópios astronômicos, que utilizam grandes espelhos côncavos para fotografar corpos celestes.

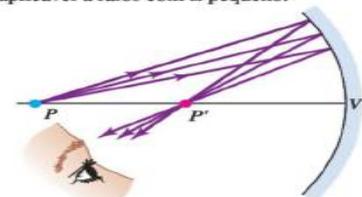
Vamos agora localizar o ponto imagem real P' mostrado na Figura 34.10a e provar que todos os raios provenientes do ponto P se interceptam no ponto P' (desde que o ângulo seja pequeno). A distância do objeto, medida a partir do vértice V , é igual a s ; a distância da imagem, também medida a partir de V , é igual a s' . Os sinais de s , s' e o raio de curvatura R são obtidos usando-se as regras de sinais mencionadas na Seção 4.5.2. O ponto objeto P está do mesmo lado do raio incidente; logo, de acordo com a primeira regra, a distância s é positiva. O ponto imagem P' está do lado da luz refletida; portanto, de acordo com a segunda regra, a distância s' também é positiva.

Figura 4.21: (a) Um espelho esférico côncavo forma uma imagem real de um objeto pontual P . (b) O olho vê alguns dos raios refletidos e os interpreta como se eles emanassem de uma fonte em P' .

(a) Construção para encontrar a posição P' de uma imagem formada por um espelho esférico côncavo.



(b) A aproximação paraxial, que é aplicável a raios com α pequeno.



Todos os raios de P que possuem um ângulo α pequeno passam por P' , formando uma imagem real.

Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 43.

O centro de curvatura C está do mesmo lado da luz refletida e, assim, de acordo com a terceira regra, a distância R também é positiva; R é sempre positivo quando a reflexão ocorre no lado *côncavo* da superfície (**Figura 4.22**).

Usamos agora o seguinte teorema da geometria plana: o ângulo externo de um triângulo é igual à soma dos dois ângulos internos opostos. Aplicando esse teorema aos triângulos PBC e $P'BC$ indicados na Figura 4.21a, obtemos

$$\phi = \alpha + \theta \quad \beta = \phi + \theta$$

Eliminando θ dessas equações, encontramos

$$\alpha + \beta = 2\phi \tag{4.7}$$

Agora podemos calcular a distância da imagem s' . Sejam h a altura do ponto B acima do eixo óptico e δ a pequena distância entre V e a base dessa linha vertical. Vamos escrever expressões para as tangentes dos ângulos α , β e ϕ , lembrando que s , s' e R são grandezas positivas:

$$\tan \alpha \approx \frac{h}{s - \delta} \quad \tan \beta \approx \frac{h}{s' - \delta} \quad \tan \phi \approx \frac{h}{R - \delta}$$

Essas equações trigonométricas não são de solução tão simples como as obtidas no caso do espelho plano. Contudo, se o ângulo α for pequeno, os ângulos β e ϕ também serão. A tangente de um ângulo muito menor que um radiano é aproximadamente igual ao próprio ângulo (medido em radianos), de modo que podemos substituir, nas equações anteriores, $\tan \alpha$ por α e assim por diante. Além disso, quando o ângulo α é pequeno, é possível desprezar a distância em comparação com s , s' e R . Portanto, para ângulos pequenos, obtemos as seguintes relações aproximadas:

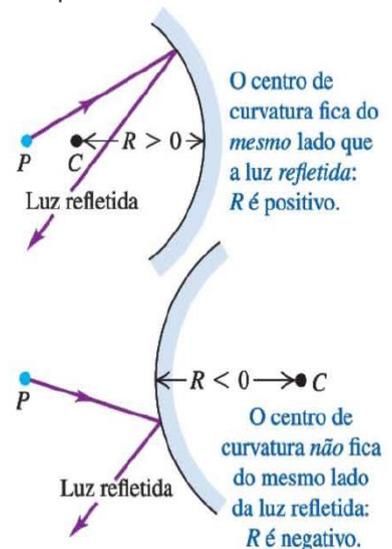
$$\alpha \approx \frac{h}{s} \quad \beta \approx \frac{h}{s'} \quad \phi \approx \frac{h}{R}$$

Substituindo esses valores na Equação 4.7 e dividindo por h , obtemos uma equação geral envolvendo s , s' e R :

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad (\text{relação imagem-objeto, espelho esférico}) \tag{4.8}$$

Essa equação não contém o ângulo α . Logo, todos os raios provenientes do ponto P que formam um ângulo suficientemente pequeno com o eixo se interceptam no ponto P' depois da reflexão; isso demonstra nossa afirmação anterior. Tais raios,

Figura 4.22: A regra de sinais para o raio de um espelho esférico.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 43.

aproximadamente paralelos e próximos do eixo, são chamados de **raios paraxiais**. (A expressão **aproximação paraxial** é, em geral, usada para a aproximação que acabamos de descrever.) Como todos os raios refletidos convergem sobre o ponto da imagem, um espelho côncavo também é chamado de espelho convergente.

4.6.2 Foco e distância focal

Quando o ponto objeto P está muito longe do espelho esférico ($s = \infty$), os raios incidentes são paralelos. De acordo com a Equação 34.4, a distância s' nesse caso é dada por

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad s' = \frac{R}{2}$$

Essa situação é apresentada na **Figura 4.23a**. O feixe dos raios incidentes paralelos converge, depois da reflexão no espelho esférico, para um ponto F situado a uma distância $R/2$ do vértice do espelho. O ponto F para o qual os raios paralelos convergem é chamado de foco do espelho ou **ponto focal**; dizemos que os raios se encontram no ponto focal. A distância entre o foco e o vértice do espelho, designada pela letra f , denomina-se **distância focal**. Vemos que entre f e o raio de curvatura R existe a relação

$$f = \frac{R}{2} \quad (\text{distância focal de um espelho esférico}) \quad 4.8$$

A situação oposta é mostrada na Figura 4.23b. Agora o *objeto* é colocado no ponto focal F , de modo que a distância do objeto é dada por $s = f = R/2$. A distância da imagem s' pode ser novamente obtida pela Equação 4.17:

$$\frac{2}{R} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad \frac{1}{s'} = 0 \quad s' = \infty$$

Quando o objeto está situado sobre o ponto focal, os raios refletidos indicados na Figura 4.23b são paralelos ao eixo ótico-eles se encontram somente no infinito, logo, a distância da imagem é infinita. Portanto, as propriedades do foco F de um espelho esférico mostram que (1) todo raio que incide paralelamente ao eixo ótico é refletido passando pelo foco e (2) qualquer raio passando pelo foco que incide sobre o espelho é refletido paralelamente ao eixo ótico. Para um espelho esférico, essas afirmações são válidas apenas no caso dos raios paraxiais. Para um espelho parabólico, essas afirmações são *integralmente* válidas. Espelhos parabólicos e esféricos são usados em lanternas e nos faróis dos automóveis para transformar a luz da lâmpada em um feixe paralelo. Em algumas usinas, para aproveitamento da

energia solar, usa-se uma grande rede de espelhos planos para simular aproximadamente um espelho esférico côncavo; a luz solar é coletada pelos espelhos e projetada para o ponto focal, onde as caldeiras são colocadas para produzir vapor. (Os conceitos de foco e de distância focal também se aplicam a lentes, como veremos na Seção 4.6.)

Geralmente expressaremos a relação entre as distâncias da imagem e do objeto, Equação 34.4, em termos da distância focal f :

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (\text{relação imagem-objeto, espelho esférico})$$

4.9

4.6.3 Formação da imagem de um objeto extenso: espelho esférico côncavo

Vamos agora supor que o objeto possua um tamanho *finito*, representado pela seta PQ na **Figura 4.24**, perpendicular ao eixo óptico CV . A imagem de P formada pelos raios paraxiais se encontra no ponto P' . A distância do objeto ao ponto Q é quase igual à distância do objeto ao ponto P , de modo que a imagem $P'Q'$ é aproximadamente reta e perpendicular ao eixo óptico. Observe que as setas do objeto e da imagem possuem tamanhos diferentes, y e y' , respectivamente, e que os sentidos das setas são opostos. Na Equação 4.6, definimos a *ampliação transversal* m como a razão entre a altura da imagem y' e a altura do objeto y :

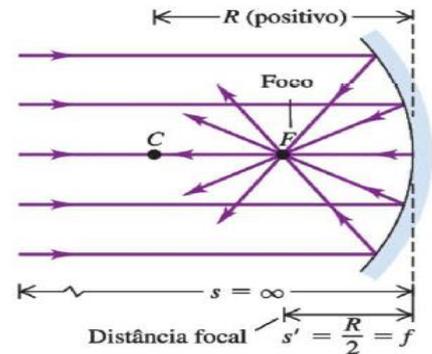
$$m = \frac{y'}{y}$$

Como os triângulos PVQ e $P'VQ'$ na Figura 4.24 são *semelhantes*, obtemos a relação $y/s = -y'/s'$. O sinal negativo é necessário porque a imagem e o objeto estão em lados opostos em relação ao eixo óptico; quando y é positivo, y' é negativo, e vice-versa. Logo,

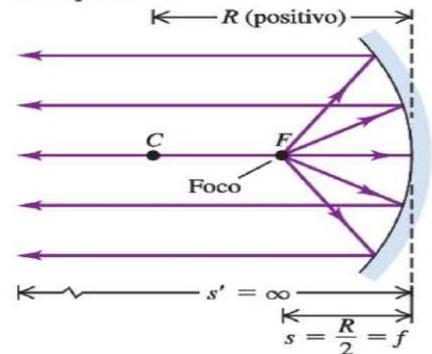
$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} \quad (\text{ampliação transversal, espelho esférico}) \quad 4.10$$

Figura 4.23: O foco e a distância focal de um espelho côncavo.

(a) Todos os raios incidentes paralelos em um espelho esférico se refletem passando pelo foco

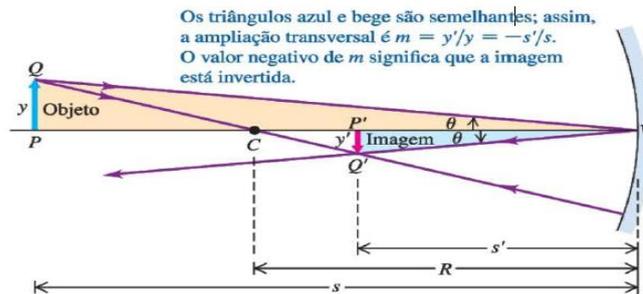


(b) Os raios que divergem do foco de um espelho se refletem e formam raios paralelos



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 45.

Figura 4.24: Construção para determinar a posição, a orientação e a altura da imagem formada por um espelho esférico côncavo.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 45.

Em nosso estudo dos espelhos côncavos, até o momento consideramos apenas objetos situados sobre o foco ou *fora* da região entre o foco e o vértice, de modo que a distância do objeto s ou é superior ou é igual ao valor da distância focal f (positiva). Nesses casos, o ponto imagem fica sempre do mesmo lado do espelho que os raios refletidos, e a imagem é real e invertida. Quando um objeto está *dentro* do foco de um espelho côncavo, de modo que $s < f$, a imagem resultante é *virtual* (ou seja, o ponto imagem fica do lado do espelho oposto ao lado onde se encontra o objeto), *direita* e *maior* que o objeto. Os espelhos de maquiagem (mencionados no início desta seção) são espelhos côncavos; quando se usa um desses espelhos, a distância entre o rosto e o espelho é menor que a distância focal, e o que se vê é uma imagem direita com tamanho maior. Você pode provar as afirmações anteriores sobre espelhos côncavos aplicando as equações 4.9 e 4.10. Também verificaremos esses resultados estudando os métodos gráficos para a determinação das posições e dos tamanhos dos objetos e das imagens. (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

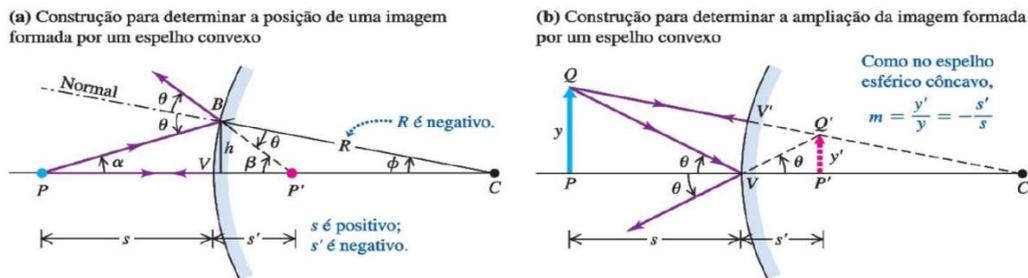
4.6.4 Espelhos convexos

Na **Figura 4.25a**, o lado *convexo* de um espelho esférico está de frente para o feixe incidente. O centro de curvatura se encontra do lado oposto aos raios emergentes; de acordo com a terceira regra de sinais exposta na Seção 4.5, R possui valor negativo (veja a Figura 4.22). O raio PB é refletido, com os ângulos de incidência e reflexão iguais a θ . O raio refletido, projetado para trás, intercepta o eixo no ponto P' . Como no caso do espelho côncavo, *todos* os raios provenientes de P refletidos pelo espelho divergem de um mesmo ponto P' , desde que o ângulo θ seja pequeno. O ponto P' é, portanto, a imagem de P . A distância do objeto s é positiva, a distância

da imagem s' é negativa e o raio de curvatura R é *negativo* em um espelho esférico convexo.

A Figura 4.25b mostra dois raios divergindo da extremidade da seta PQ e a imagem virtual $P'Q'$ dessa seta. O mesmo procedimento usado no caso do espelho côncavo é aplicável para mostrar que, no caso do espelho convexo, as expressões para a relação objeto-imagem e a ampliação transversal são:

Figura 4.25 Formação da imagem em um espelho convexo.



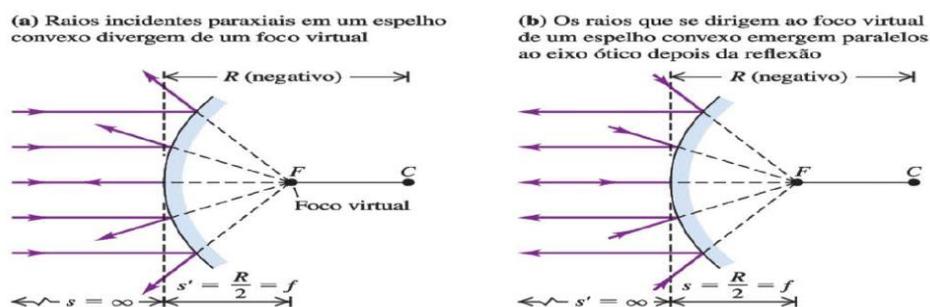
Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 47.

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{2}{R} \quad \text{e} \quad m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$$

Essas expressões são exatamente iguais às equações 4.8 e 4.10 obtidas para um espelho côncavo. Portanto, quando usamos corretamente as regras de sinais, as equações 4.8 e 4.10 valem tanto para um espelho côncavo quanto para um espelho convexo.

Quando R é negativo (espelho convexo), os raios que incidem paralelamente ao eixo óptico não passam pelo foco F . Em vez disso, eles divergem como se estivessem emanando de um ponto F situado a uma distância f atrás do espelho, como indicado na **Figura 4.26a**. Nesse caso, f é a distância focal e F denomina-se *foco virtual*. A distância correspondente da imagem s' é negativa; logo, f e R possuem sinais negativos e a Equação 4.8, $f = R/2$, vale tanto para um espelho côncavo quanto para um espelho convexo. Na Figura 4.26b os raios incidentes convergem como se fossem se encontrar no foco virtual F e são refletidos paralelamente ao eixo óptico.

Figura 4.26: Foco e distância focal de um espelho convexo.

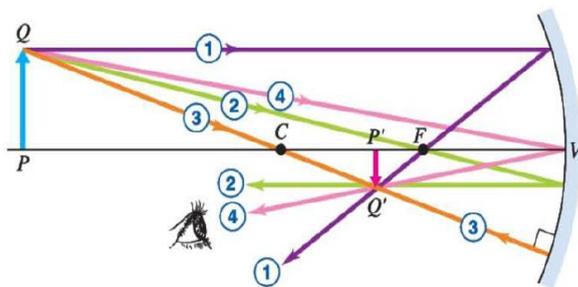


Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 48.

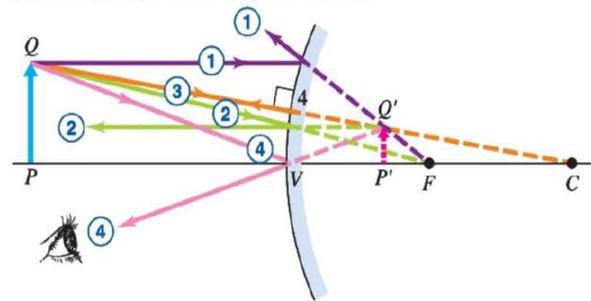
Podemos também determinar as propriedades das imagens usando um método *gráfico* simples. Esse método consiste em encontrar o ponto de interseção de alguns raios particulares que divergem de um ponto do objeto (como o ponto Q indicado na **Figura 4.27**) e que são refletidos pelo espelho. Então (desprezando as aberrações), verificamos que *todos* os raios provenientes desse ponto do objeto e que se refletem no espelho se interceptam no mesmo ponto. Para essa construção, sempre escolhemos um ponto do objeto que *não* esteja situado sobre o eixo óptico. Os quatro raios geralmente desenhados com mais facilidade são representados na Figura 4.27. Eles são chamados de **raios principais**.

Figura 4.27: Método gráfico para localizar a posição da imagem formada por um espelho esférico.

(a) Raios principais em um espelho côncavo



(b) Raios principais em um espelho convexo



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 49.

1. Um raio paralelo ao eixo, depois da reflexão, passa pelo foco F de um espelho côncavo ou parece vir do foco (virtual) de um espelho convexo.
2. Um raio que passa pelo foco F (ou que provém do foco) é refletido paralelamente ao eixo óptico.
3. Um raio na direção do raio passando pelo centro de curvatura C (ou cujo prolongamento atinge o centro de curvatura) intercepta a superfície perpendicularmente e é refletido de volta em sua direção inicial.
4. Um raio que passa pelo vértice V é refletido formando ângulos iguais com o eixo óptico.

Uma vez encontrada a posição do ponto imagem por meio da interseção dos raios principais (1, 2, 3, 4), podemos desenhar a trajetória de qualquer outro raio que vá do ponto objeto ao ponto imagem.

4.7 Lentes delgadas

O dispositivo óptico mais conhecido e amplamente usado (depois do espelho plano) é a lente. Uma lente é um sistema óptico com duas superfícies refratoras. A lente

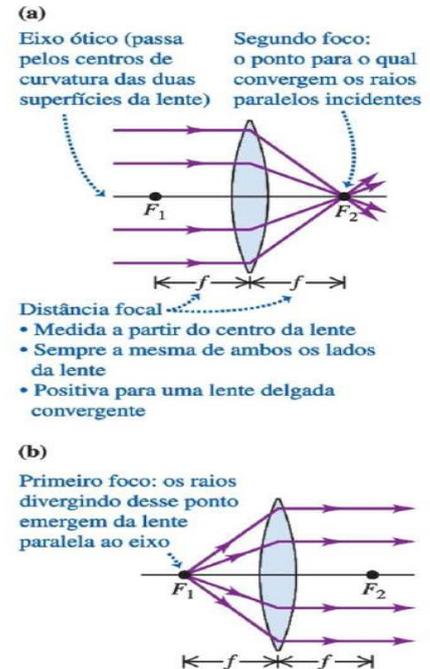
mais simples possui duas superfícies esféricas suficientemente próximas para desprezarmos a distância entre elas (a espessura da lente); chamamos esse dispositivo de **lente delgada**. Se você usa óculos ou lentes de contato quando lê, você está vendo estas palavras através de lentes delgadas. Contudo, primeiro vamos descrever as propriedades das lentes delgadas.

4.7.1 Propriedades das lentes

Uma lente como a mostrada na **Figura 4.28** apresenta a propriedade de que todo feixe paralelo ao eixo da lente que passa para o outro lado converge para um ponto F_2 (Figura 4.28a) e forma uma imagem real nesse ponto. Essa lente é chamada de **lente convergente**. De maneira análoga, os raios que emanam do ponto F_1 emergem da lente formando um feixe paralelo (Figura 4.28b). O ponto F_1 é chamado de primeiro foco, o ponto F_2 é o segundo foco e a distância! (medida a partir do centro da lente) é chamada de distância focal. Observe a semelhança entre os dois focos de uma lente convergente e o foco de um espelho côncavo (Figura 4.23). Como em um espelho côncavo, a distância focal de uma lente convergente é definida como uma grandeza positiva, e esse tipo de lente também é conhecido como lente positiva.

A linha horizontal central na Figura 4.28 é chamada de eixo óptico, como no caso de um espelho esférico. Os centros de curvatura das duas superfícies esféricas se situam no eixo óptico e o definem. As duas distâncias focais mostradas na Figura 4.28, ambas designadas por f , possuem sempre o mesmo valor para uma lente delgada, mesmo quando as curvaturas das duas superfícies são diferentes. Mostraremos esse resultado mais adiante nesta seção, quando deduzirmos a relação entre f ao índice de refração da lente e os raios de curvatura de suas superfícies. (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.28: F_1 e F_2 são o primeiro e segundo focos de uma lente delgada convergente. O valor numérico de f é positivo.

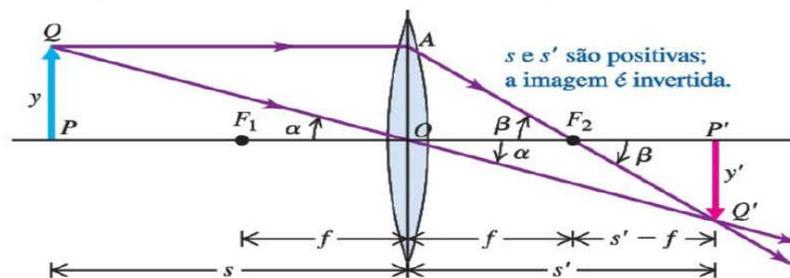


Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 57.

4.7.2 Imagem de um objeto extenso: lentes convergentes

Como no caso de um espelho côncavo, uma lente convergente pode formar a imagem de um objeto extenso. Na **Figura 4.29**, mostramos como determinar a ampliação transversal e a posição da imagem produzida por uma lente delgada convergente. Usando a mesma notação e as mesmas regras de sinais anteriores, chamaremos de \underline{s} a distância do objeto e de \underline{s}' a distância da imagem; \underline{y} é a altura do objeto e \underline{y}' é a altura da imagem. O raio QA, paralelo ao eixo óptico antes da refração, passa através do segundo foco F_2 . O raio QOQ' passa através do centro da lente sem sofrer nenhum desvio porque (supomos) as duas superfícies estão muito próximas e são praticamente paralelas. Existe refração quando esse raio entra no material e quando sai dele, porém não existe variação apreciável de sua direção.

Figura 4.29: Construção para determinar a posição da imagem formada por uma lente delgada.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 57.

Os dois ângulos indicados pela letra α na Figura 4.29 são iguais. Portanto, os dois triângulos retângulos PQO e $P'Q'O$ são *semelhantes* e as razões entre os lados correspondentes são iguais. Logo,

$$\frac{y}{s} = -\frac{y'}{s'} \quad \text{ou} \quad \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s} \quad 4.11$$

(O sinal negativo indica que a imagem está abaixo do eixo óptico e y' é negativo.)

Além disso, os ângulos indicados pela letra β são iguais e os dois triângulos retângulos OAF_2 e $P'Q'F_2$ são semelhantes. Assim,

$$\frac{y}{f} = -\frac{y'}{s'-f} \quad \text{ou} \quad \frac{y'}{y} = -\frac{s'-f}{f} \quad 4.12$$

Agora igualamos a Equação 4.11 com a Equação 4.12, dividimos por s' e reagrupamos para obter

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (\text{Relação objeto-imagem, lente delgada}) \quad 4.13$$

onde:

s = Distância do objeto

s' = Distância da imagem

f = Distância focal da lente

A Equação 4.11 também fornece a ampliação transversal $m = y'/y$ para a lente:

$$m = -\frac{s'}{s} \quad (\text{ampliação transversal, lente delgada}) \quad 4.14$$

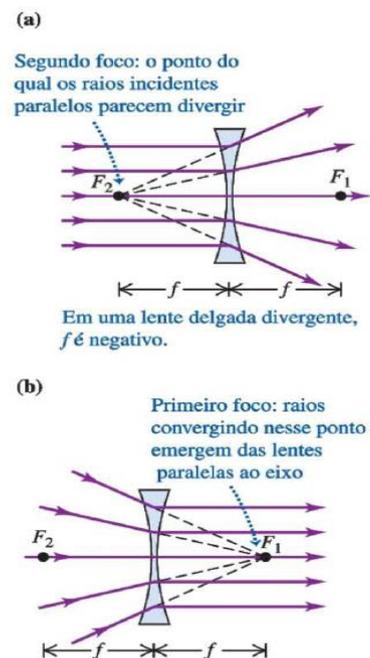
O sinal negativo mostra que, quando s e s' são ambos positivos, como na Figura 4.29, a imagem é *invertida* e y e y' possuem sinais opostos.

As equações 4.13 e 4.14 são as equações fundamentais para as lentes delgadas. Elas são *exatamente* iguais às equações correspondentes obtidas para espelhos esféricos, equações 4.9 e 4.10. Como veremos, as mesmas regras de sinais usadas para espelhos esféricos também são válidas para lentes delgadas. Em particular, considere uma lente com uma distância focal positiva (uma lente convergente). Quando um objeto está além do primeiro foco F_1 dessa lente (ou seja, quando $s > f$), a distância da imagem s' é positiva (ou seja, a imagem está do mesmo lado dos raios emergentes); essa imagem é real e invertida, como indica a Figura 4.29. Um objeto colocado entre o vértice e o primeiro foco de uma lente convergente, ou seja, $s < f$, produz uma imagem com valor de s' negativo; essa imagem está situada do mesmo lado da lente onde se encontra o objeto e ela é virtual, direita e maior que o objeto.

4.7.3 Lentes divergentes

Até agora, discutimos apenas lentes convergentes. A Figura 4.30 mostra uma **lente divergente**; um feixe de raios paralelos que incide sobre a lente diverge depois da refração. A distância focal de uma lente divergente é uma grandeza negativa, e a lente também é chamada de lente negativa. Os focos de uma lente negativa estão em posições invertidas em relação aos focos de uma lente convergente. O segundo foco, F_2 , de uma lente divergente, é o ponto a partir do qual os raios que estavam originalmente paralelos ao eixo parecem divergir depois da refração, como na Figura

Figura 4.30: F_2 e F_1 são o segundo e o primeiro focos de uma lente delgada divergente, respectivamente. O valor numérico de f é negativo.

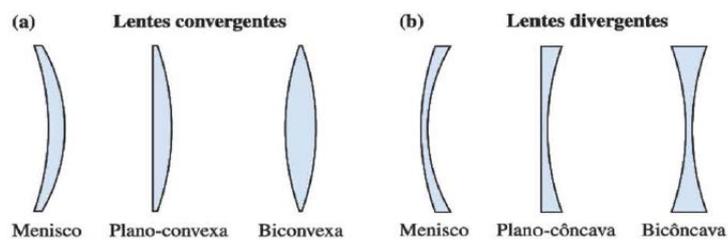


Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 59.

4.30a. Os raios incidentes que convergem para o primeiro foco, F_1 , como indicado na Figura 4.30b, emergem da lente formando um feixe paralelo a seu eixo. Comparando com a Seção 4.6, você pode ver que uma lente divergente apresenta a mesma relação com uma lente convergente que um espelho convexo tem com um espelho côncavo.

As equações 4.13 e 4.14 podem ser aplicadas para *qualquer* tipo de lente, tanto para lentes positivas quanto para lentes negativas. Na **Figura 4.31**, mostramos diversos tipos de lentes convergentes e divergentes. Anote a seguinte observação importante: *qualquer lente mais espessa no centro que nas bordas é uma lente convergente com valor de f positivo; e qualquer lente mais fina no centro que nas bordas é uma lente divergente com valor de f negativo* (desde que essas lentes estejam imersas em um material com índice de refração menor que o índice de refração do material da lente). Podemos provar isso usando a *equação do fabricante de lentes*, cuja dedução será nossa próxima tarefa.

Figura 4.31: Vários tipos de lentes.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 59.

4.7.4 Métodos gráficos para lentes

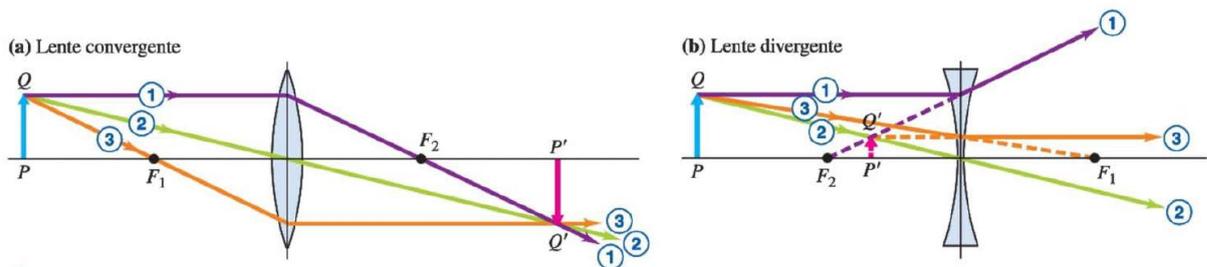
Podemos determinar a posição e o tamanho da imagem formada por uma lente delgada mediante um método gráfico semelhante ao usado na Seção 4.6 para espelhos esféricos. Desenhemos novamente alguns raios especiais, chamados de raios principais, que divergem de um ponto do objeto que não esteja sobre o eixo ótico. A interseção desses raios, depois de eles terem passado através da lente, determina a posição e o tamanho da imagem. Ao usar o método gráfico, consideramos o desvio total do raio como se ele ocorresse em um plano vertical passando pelo centro da lente, como na **Figura 4.32**. Isso é coerente com a hipótese de que a distância entre as superfícies da lente é desprezível.

Os três raios principais cujas trajetórias podem ser facilmente traçadas para lentes são indicados na **Figura 4.32**: (Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016).

1. Um raio paralelo ao eixo emerge da lente passando pelo segundo foco F_2 de uma lente convergente ou parece vir do segundo foco de uma lente divergente.
2. Um raio que passa pelo centro da lente não sofre nenhum desvio apreciável; no centro da lente, as duas superfícies são paralelas, de modo que o raio emergente entra e sai essencialmente na mesma direção.
3. Um raio que passa pelo primeiro foco F_1 (ou cujo prolongamento o atinge) emerge paralelamente ao eixo óptico.

Quando a imagem é real, a posição do ponto imagem é determinada pela interseção de quaisquer dois dos raios 1, 2 e 3 (Figura 4.32a). Quando a imagem é virtual, a posição da imagem é determinada pela interseção dos prolongamentos dos raios emergentes (Figura 4.32b). (Young, Sears e Zemansky, 2016).

Figura 4.32: Método gráfico para localizar uma imagem formada por uma lente delgada.



Fonte: Young e Freedman; Sears e Zemansky, 2016, p. 62.

4.8 Cor

Newton começou a ganhar fama com seus estudos sobre a luz. Por volta de 1665, quando estudava imagens de corpos celestes formadas por uma lente, Newton notou que havia uma coloração nas bordas da imagem. A fim de estudar melhor o fenômeno, ele escureceu a sala, permitindo que a luz solar entrasse apenas por uma pequena abertura circular na janela e produziu uma mancha circular luminosa sobre a parede oposta. Ele então posicionou um prisma triangular de vidro no feixe de luz e observou que a luz branca separava-se nas cores de um arco-íris. (Hewitt, 2015).

Newton mostrou que, dentro de um feixe de luz solar havia todas as cores do arco-íris. A luz branca é uma composição das cores do arco-íris. E mais, ele mostrou que um arco-íris nada mais é que o resultado da dispersão análoga da luz solar em pequenas gotas de água que existem no céu. Com um segundo prisma, Newton descobriu que essas cores poderiam ser recombinadas para formar luz branca novamente. (Hewitt, 2015).

4.8.1 A cor em nosso mundo

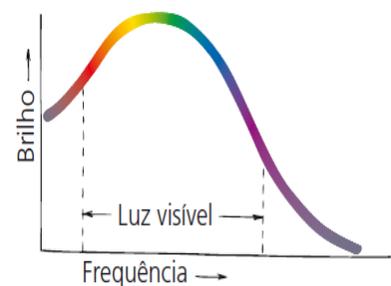
As rosas são vermelhas e as violetas são azuis; as cores intrigam artistas e físicos. Para o físico, as cores de um objeto não estão nas substâncias dos próprios objetos, ou mesmo na luz que eles emitem ou refletem. A cor é uma experiência fisiológica e reside no olho do espectador. Portanto, quando dizemos que a luz de uma rosa é vermelha, num sentido estrito, queremos dizer que ela aparece como vermelha. Muitos organismos, o que inclui pessoas com visão deficiente para cores, não enxergam as rosas como vermelhas de jeito nenhum. (Hewitt, 2015).

As cores que vemos dependem da frequência da luz incidente. Luzes com frequências diferentes são percebidas em diferentes cores; a luz de frequência mais baixa que podemos detectar aparece para a maioria das pessoas como a cor vermelha, e as de mais alta frequência, como violeta. Entre elas, existe uma faixa com um número infinito de matizes que formam o espectro de cor de um arco-íris. Por convenção, esses matizes são agrupados em sete cores, vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. Juntas, essas cores aparecem como o branco. A luz branca do Sol é uma composição de todas as frequências visíveis.

4.8.2 Misturando luzes coloridas

O fato de que a luz branca solar é composta de todas as frequências visíveis é facilmente demonstrado, como fez Newton pela primeira vez quatro séculos atrás, quando a luz solar atravessa um prisma e observamos um espectro colorido semelhante a um arco-íris. A intensidade da luz solar varia com a frequência, sendo mais intensa na parte amarelo-esverdeada do espectro. É interessante notar que nossos olhos evoluíram para ter a máxima sensibilidade nessa faixa de frequências. Essa é a razão pela qual, cada vez mais, os novos equipamentos contra incêndios são pintados com esta cor, particularmente nos aeroportos, onde a visibilidade é vital. Nossa sensibilidade à luz amarelo-esverdeada também explica por que, durante a noite, enxergamos melhor sob a luz amarelada das lâmpadas a vapor

FIGURA 4.33: A curva de radiação da luz solar é um gráfico que mostra o brilho em função da frequência.



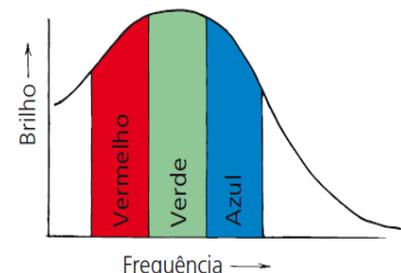
Fonte: Hewitt, 2015, p. 508.

de sódio do que sob a luz das lâmpadas comuns de mesmo brilho, com filamentos de tungstênio. (Hewitt, 2015).

A distribuição gráfica do brilho em função da frequência é chamada de curva de radiação da luz solar (Figura 4.33). A maior parte das cores brancas produzidas pela reflexão da luz solar compartilha dessa distribuição de frequências.

A combinação de todas as cores forma o branco. Curiosamente, a percepção do branco também resulta da combinação apenas de luzes vermelha, verde e azul. Podemos compreender isso dividindo a radiação solar em três regiões, como mostrado na Figura 4.34. Três tipos de receptores em forma de cones em nossos olhos percebem cores. A luz no terço mais baixo da distribuição espectral estimula os cones sensíveis a frequências baixas e

FIGURA 4.34: A curva de radiação da luz solar dividida em três regiões: vermelha, verde e azul (RGB).



Fonte: Hewitt, 2015, p. 508.

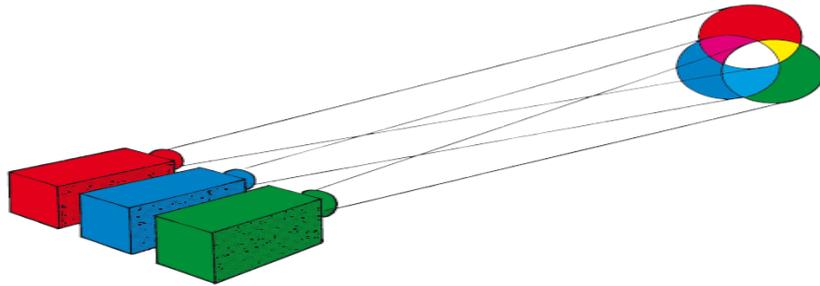
aparece como vermelha; a luz no terço médio da distribuição espectral estimula os cones sensíveis às frequências médias e aparece como verde; e a luz na terça parte das frequências altas estimula os cones sensíveis às altas frequências e aparece como azul. Quando os três tipos de cones são estimulados simultaneamente, enxergamos o branco.

4.8.3 Cores primárias

Projete luzes vermelha, verde e azul sobre uma tela branca. Onde houver superposição das três luzes, será produzido o branco. Onde houver superposição de duas dessas três cores, outra cor será produzida (Figura 4.35). Na linguagem dos físicos, luzes que se superpõem estão sendo adicionadas umas às outras. Assim, dizemos que as luzes vermelha, verde e azul adicionam-se para produzir a luz branca, e que quaisquer duas dessas três cores adicionam-se para produzir alguma outra cor. Variando as proporções de vermelho, verde e azul, cores às quais nossos três tipos de cones são sensíveis, produz-se qualquer cor do espectro. Por essa razão, o vermelho, o verde e o azul são chamadas de **cores primárias aditivas**. Este sistema de cores, conhecido pelas iniciais inglesas RGB (Red-Green-Blue), é usado nos monitores de computador e de TV. Pontos vermelhos, verdes e azuis criam a imagem. Ciano, amarelo e magenta aparecem onde pares de pontos se superpõem. Um exame

de perto da imagem de uma tela de TV revelaria um conjunto de minúsculas manchas luminosas, cada qual com menos de um milímetro da largura. Quando a tela brilha, uma mistura de cores RGB, a uma dada distância, forma um arranjo completo de cores, além do branco e do preto. (Hewitt, 2015)

FIGURA 4.35: A adição de cores realizada pela mistura de luzes coloridas.



Fonte: PHewitt, 2015.

5 METODOLOGIA

Nesta seção serão detalhados os procedimentos metodológicos que foram empregados para o desenvolvimento da pesquisa e do produto educacional, com a finalidade de se atingir os objetivos e os problemas apresentados.

5.1 Caracterização da pesquisa

Este trabalho encaixa-se em uma abordagem metodológica do tipo quali-quantitativa, ao passo em que os dados coletados receberam um tratamento tanto qualitativo, quanto quantitativo.

Tivemos início à pesquisa Bibliográfica, elaborada a partir de materiais já publicados, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos, teses e dissertações. Com o objetivo de reunir material sobre os assuntos abordados no projeto, por exemplo, experimentos e jogos como metodologia de ensino/aprendizagem no ensino de física, história do ensino de física e aprendizagem significativa.

Nesta perspectiva, este projeto teve como característica explorar os experimentos e jogos como metodologia de ensino-aprendizagem de forma que tenha significado para os estudantes, alcançando assim uma aprendizagem significativa, baseado na bibliografia de Moreira e Ausubel, e explicando os motivos que os métodos conhecidos como tradicionais são ineficientes em relação a metodologia através da experimentação, do lúdico e gamificação, fazendo assim muito mais sentido para os estudantes.

No decorrer da pesquisa foi realizado um questionário diagnóstica com perguntas abertas e fechadas, antes de aplicar os experimentos e os jogos como metodologia de ensino-aprendizagem, e depois da aplicação dos experimentos e jogos foram novamente aplicados o questionário para uma análise de dados.

5.2 Campo empírico da pesquisa

O campo de pesquisa foi o Centro Educa Mais Amaral Raposo (CEMAR), pertencente à rede da Secretaria Estadual de Ensino (SEDUC - MA), localizada na rua da Mangueira, Bairro Mangueira na cidade de Grajaú - MA. Com o INEP

21122342, foi inaugurado em 1993 com turmas em tempo parcial e em 2018 passou a trabalhar em regime de tempo integral e parcial, iniciando pelas 1ª séries, no próximo ano 1ª e 2ª série e em 2020 as três séries em formato de tempo integral.

A escola foi reformada recentemente, hoje ela se encontra em quase perfeito estado, apenas faltando fazer pequenos reparos, contém uma quadra poliesportiva coberta, biblioteca, auditório, refeitório que serve três refeições diárias: lanche pela manhã, almoço e lanche pela tarde, as salas de aulas são amplas e todas climatizadas, laboratórios, mas com poucos equipamentos para os professores trabalharem com mais eficiência.

5.3 Participantes da pesquisa

A pesquisa foi realizada com os estudantes da 2ª série do ensino médio, da turma (CHL), composta por 21 estudantes, entre eles 7 masculinos e 14 femininos, da escola Centro Educa Mais Amaral Raposo, localizado na Rua da Mangueira, S/N – Bairro: Mangueira, em Grajaú – Maranhão.

5.4 Técnicas e instrumentos de produção de dados

Na oportunidade explicou-se que estavam sendo convidados a participar desse projeto de pesquisa do MNPEF. Esclareceu-se que toda participação deveria ser de vontade expressa e que todo conteúdo a ser abordado não teria cunho prejudicial em sua vida estudantil.

Nessa perspectiva, utilizamos um questionário composto por 10 questões, na atividade inicial, avaliação diagnóstica (pré-teste), com o objetivo de observar o quanto os estudantes tinham conhecimento sobre os assuntos que seriam abordados posteriormente, nas aulas seguintes foi realizada a explanação dos assuntos sobre conceitos da óptica geométrica, os princípios de propagação da luz, as leis de reflexão e refração, dispersão da luz, e nessa etapa utilizei a observação e participação dos estudantes no decorrer das aulas.

Durante as aulas dos experimentos e na aplicação dos jogos didáticos, sendo eles, Trilha da Óptica Geométrica e Óptica Master, foi utilizado tanto a observação, quanto o desenvolvimento durante a realização dos experimentos como também a ajuda mútua, ou seja, a cooperação entre eles.

E após ser aplicada a (SD) foi novamente aplicado uma atividade final de 10 questões (pós-teste), com o objetivo de examinar se os estudantes obtiveram conhecimento favorável em relação aos conteúdos abordados, ou seja, sobre conceitos da óptica geométrica, os princípios de propagação da luz, as leis de reflexão e refração, dispersão da luz.

5.5 Produto educacional

Foi construído uma SD com duração de dez aulas explanando todos os passos a serem tomados, o mesmo será apresentado em apêndice deste trabalho para uma melhor organização e facilite o encontro para quem procura.

5.5.1 Elaboração

Este projeto de pesquisa teve como objetivo, aplicar experimentos utilizando o kit didático “Aventuras na ciência - com raios de luz” e elaborar jogos de cartas e de tabuleiros para que os estudantes tenham uma aprendizagem significativa, fazendo uma mistura do lúdico com a parte teórica dos conteúdos da Óptica Geométrica.

Por esse motivo a elaboração e aplicação dos jogos de tabuleiro e cartas deu uma ludicidade para o ensino-aprendizagem dos estudantes nos assuntos da óptica geométrica, fazendo com que as aulas fiquem mais divertidas e os estudantes entendam os conteúdos de física.

5.5.2 Desenvolvimento

Este projeto de pesquisa foi desenvolvido com a construção de uma SD utilizando experimentos e jogos de cartas e tabuleiros, com a ajuda dos estudantes da 2ª série do ensino médio, no CEMAR, abordando os conteúdos de física, mais especificamente os conceitos da óptica geométrica.

Para os jogos de cartas, foram produzidos jogos de baralhos no formato de quiz relacionando os conceitos físicos da propagação da luz, interação da luz como meio, os princípios da óptica geométrica, reflexão e refração da luz e também a dispersão da luz, para que os estudantes compreendam os conteúdos abordados.

Já nos jogos de tabuleiros foram construídos uma trilha numerada onde cada número que o aluno parar durante o jogo, será realizado uma pergunta sobre os assuntos dos conceitos da óptica geométrica, reflexão e refração citados no parágrafo anterior.

Tabela 1: Sequência Didática

Plano das aulas para uma Sequência Didática (SD)				
Título: Óptica Geométrica				
Público-alvo				
Caracterização dos alunos	Caracterização da escola	Caracterização do ambiente escolar		
Estudantes entre 15 e 17 anos, sendo a maioria vindo de escolas públicas municipais, e a sala composta por 7 meninos e 14 meninas, totalizando 21 estudantes.	Escola da rede pública estadual.	Ambiente escolar muito aconchegante com salas climatizadas e bem arejadas, quadra poliesportiva		
Problematização	Dificuldade dos estudantes em entender os conceitos de física e acharem o componente curricular de Física muito difícil.			
Objetivo Geral	Compreender os fenômenos ocorridos em nosso cotidiano através da Óptica Geométrica: propagação da luz, reflexão, refração e dispersão da luz.			
Metodologia de Ensino				
Etapas	Aulas	Objetivos Específicos	Conteúdos	Dinâmica das atividades
1ª	1 h/a	Identificar se os estudantes já têm algum entendimento sobre os conteúdos que serão aplicados.	Óptica geométrica, reflexão, refração e dispersão da luz.	Aplicação de um questionário com perguntas abertas e as perguntas que forem fechadas terão que ser justificadas.
2ª	2 h/a	Compreender os conceitos da propagação da luz, os princípios da óptica geométrica e os fenômenos ópticos. Identificar as características que ocorrem quando um raio de luz atravessa de um meio para outro com índice de refração diferente e a decomposição da luz.	Óptica geométrica Reflexão. Refração e dispersão da luz	Aulas expositivas, explanando os conceitos sobre propagação retilínea da luz, fontes de luz e os meios de propagação da luz. Experimento simples utilizando um <i>laser</i> , um espelho e um desodorante aerosol. Explanação dos conteúdos através de explicação com utilização de slide, computador.
3ª	2 h/a	Entender os	Propagação da luz,	Utilização do "Kit

		conceitos da óptica geométrica e suas respectivas leis. Compreender as leis da reflexão e refração, relacionando com acontecimentos do nosso cotidiano.	fontes de luz, princípios da óptica geométrica. Reflexão, refração e dispersão da luz.	aventuras na ciência”, disponibilizado pela minha orientadora, composto pela fonte de luz, fendas simples e múltiplas, suposte com lente de plástico, e algumas lentes planas e esféricas para simular espelhos côncavo e convexo. Como também um prisma e lentes compostas grossas e finas. Com a utilização do kit didático Aventuras na ciência, os estudantes reproduziram os experimentos comprovando as leis da reflexão e refração, a propagação dos raios de luz como também a dispersão dos raios de luz como a utilização de um prisma e a fonte de luz.
4ª	2 h/a	Compreender os conceitos da propagação da luz, os princípios da óptica geométrica e os fenômenos ópticos. Identificar as características que ocorrem quando um raio de luz atravessa de um meio para outro com índice de refração diferente e a decomposição da luz.	Óptica geométrica, reflexão, refração e dispersão da luz.	Aplicação da trilha da Óptica Geométrica, um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas, seguindo as regras pré-definidas pelo professor, nessa atividade a sala foi dividida em quatro grupos, que iriam competir grupo contra grupo.
5ª	2 h/a	Entender os conceitos da óptica geométrica e suas respectivas leis. Compreender as leis da reflexão e refração, relacionando com acontecimentos do nosso cotidiano.	Propagação da luz, fontes de luz, princípios da óptica geométrica e reflexão, refração e dispersão da luz.	Aplicação do jogo Óptica Master, um jogo de cartas com problemas sobre os assuntos trabalhados nas aulas anteriores em formato de Quiz, com regras estabelecidas. A turma será dividida em grupos, os mesmos serão organizados em círculo e

				uma mesa no centro com as cartas em cima.
6^a	1 h/a	Observar o avanço ou não dos estudantes em relação aos assuntos trabalhados em sala durante o período de aplicação da SD.	Óptica geométrica, reflexão, refração e dispersão da luz. Óptica geométrica, reflexão, refração e dispersão da luz.	Aplicação da avaliação pós-teste com questões sobre os assuntos abordados na SD para uma análise de como os estudantes estavam em relação a atividade aplicada no início da SD.
	Avaliação			Realizada no decorrer das SD, logo após as atividades, a execução dos experimentos e aplicação dos jogos da Trilha Geométrica e Óptica Master.
	Mateíal Utilizado	Data show, pincel, livro didático, computador.	Jogo de cartas, Trilha e Kit didático Aventuras na Ciência.	

Fonte: próprio autor.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Neste capítulo, discutiremos os resultados das diversas etapas da aplicação e avaliação do produto educacional. Iniciaremos com a aplicação do questionário pré-teste (avaliação diagnóstica), aplicado no intuito de verificar os conhecimentos prévios dos discentes, em seguida a realização dos experimentos utilizando o kit didático – “Aventuras na ciência – aventuras com raios de luz”, logo após com a aplicação dos jogos trilha da Óptica Geométrica e Óptica Master e no final da aplicação da SD, foi reaplicado o teste que teve como objetivo verificar através de seus resultados se houve aprendizado dos assuntos trabalhados em relação as competências e habilidades relacionadas na BNCC.

6.1 Avaliação diagnóstica

Com objetivo de verificar o nível de conhecimento prévio dos alunos, realizamos a aplicação de um pré-teste (avaliação diagnóstica), (Apêndice, A). Iniciamos a aula com a explicação de como seria a aplicação da SD, em seguida foi aplicado um questionário composto por 10 questões discursivas sobre conceitos da óptica geométrica, as leis da reflexão e refração como também a dispersão da luz.

A atividade foi aplicada com vinte estudantes presentes da turma 200-CHL, sendo que no dia da aplicação da avaliação um estudante estava ausente. Ao se analisar as respostas dos estudantes, em relação ao questionário aplicado, os dados vão ser apresentados nas tabelas abaixo.

Na primeira questão que está relacionada ao conceito de luz.

Tabela 2: Quantitativo de resposta da 1ª questão.

Resposta correta	2
Resposta errada	13
Não respondeu	5

Fonte: próprio autor

Nesta questão podemos observar que os estudantes não tinham um conceito formado sobre o que é luz, em sua maioria 90% não responderam corretamente à questão.

Para a segunda questão, onde solicitamos que o estudante classificasse os materiais de acordo com que a luz atravessava.

Tabela 3: Quantitativo de resposta da 2ª questão.

Resposta correta	4
Resposta errada	9
Não respondeu	7

Fonte: próprio autor

Com os resultados obtidos podemos perceber que 16 estudantes, ou seja, 80% não responderam corretamente ou não responderam à questão, entre eles, 4 responderam correto, totalizando 20%.

Na terceira questão, quando indagamos: O que acontece quando um raio de luz atinge uma superfície que separa dois meios?

Tabela 4: Quantitativo de resposta da 3ª questão.

Resposta correta	9
Resposta errada	5
Não respondeu	6

Fonte: próprio autor

Com os resultados obtidos podemos observar que 55% dos estudantes não acertaram as questões, e as que estão como corretas. Algumas respostas estão incompletas, mas consideremos como correta pelo desenvolvimento das respostas.

Na tabela a seguir vamos ver a análise da questão que fala sobre como você vê a imagem da palavra ESCOLA olhando para um espelho plano.

Tabela 5: Quantitativo de resposta da 4ª questão.

Resposta correta	14
Resposta errada	4
Não respondeu	2

Fonte: próprio autor

Para esta questão obtivemos um total de 70% de acerto, porém entre as respostas certas, tivemos dois estudantes que escreveu a palavra correta, a grande maioria colocou como resposta, vemos a palavra ao “contrário” e outro responderam que a palavra ver de forma “invertida”, mas entre aquele que responderam ao contrário e invertida teve dois estudantes que escreveu a palavra ESCOLA de forma errada.

Na próxima tabela trataremos de uma questão que fala sobre o comportamento de três feixes de luz, nas cores azul – A, verde – B e vermelha – C, na posição de encontro e em três posições após o encontro dos feixes de luzes.

Tabela 6: Quantitativo de resposta da 5ª questão.

Resposta correta	4
Resposta errada	10
Não respondeu	6

Fonte: próprio autor

Ao analisar essa questão podemos observar que os estudantes não estabeleciam um conhecimento prévio sobre as misturas de luzes, porque entre as quatro questões que considerei corretas apenas um estudante gabaritou a resposta nas quatro posições as outras três respostas, alguns responderam só na posição 1 - vermelha, 2 - verde, 3 – azul e erraram a posição 4 e outros acertaram na posição 4 – branco e erraram as outras três posições. Entre os estudantes que responderam, o que equivalem a 80%, uns afirmaram que não sabiam, outros que não tinham conhecimentos e outros escreveram uma ou outra cor e não identificaram as posições das cores mencionadas.

Na tabela abaixo relacionamos a questão sobre um dos princípios de propagação da luz que diz: Dois raios de luz que se propagam num meio homogêneo e transparente, se cruzam num certo ponto, após o cruzamento dos dois raios de luzes, podemos afirmar que continuam se propagando na mesma direção e sentido que antes?

Pedimos que o estudante marcasse a alternativa certo ou errado e justificasse sua resposta.

Tabela 7: Quantitativo de resposta da 6ª questão.

Resposta correta	10
Resposta errada	5
Não respondeu	5

Fonte: próprio autor

Para essa questão tivemos uma divisão de respostas, mas vale ressaltar que das dez respostas considerada certa, ou seja, 50%. Apenas quatro estudantes justificaram suas respostas e entre elas, somente uma justificativa estava correta. Percebemos que os estudantes apesar de sua resposta certa ou errada não tinha conhecimento para justificar porque marcou a alternativa.

Na sétima questão onde abordemos sobre os conhecimentos dos estudantes em relação de quando é que ocorre a reflexão? As respostas dos estudantes estão relacionadas na tabela abaixo.

Tabela 8: Quantitativo de resposta da 7ª questão.

Resposta correta	6
Resposta errada	10
Não respondeu	4

Fonte: próprio autor

Ao analisar esta questão podemos observar que 70% das respostas não foram satisfatórios em relação a pergunta realizada sobre reflexão. Alguns estudantes relataram que é “Quando o objeto não absorve a luz”, outros responderam “Quando a luz bate em alguma superfície”.

Na tabela seguinte, a análise foi realizada em relação a seguinte questão. O ângulo de incidência, em um espelho plano, é de 30° . O valor do ângulo formado entre o raio refletido e a superfície é 75° ? Marque certo ou errado e justifique:

Tabela 9: Quantitativo de resposta da 8ª questão.

Resposta correta	5
Resposta errada	4
Não respondeu	11

Fonte: próprio autor

Com a análise desta questão, observamos que mais de 50% dos estudantes não responderam à questão, ou seja, não tinham conhecimento sobre o assunto abordado, os que responderam e foi considerado como correto somente um estudante justificou sua resposta.

Na tabela seguinte, mostramos a análise das respostas sobre a pergunta: (Unirio-RJ) Durante a final da copa do mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais gravou cena em um estúdio, onde existia uma bandeira da “Azzurra” com as cores (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarelo monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu da mesma cor, marque Certo ou Errado e justifique sua resposta.

Tabela 10: Quantitativo de resposta da 9ª questão.

Resposta correta	10
Resposta errada	6
Não respondeu	4

Fonte: próprio autor

De acordo com as respostas dos estudantes, observamos que 50% marcaram a resposta considerada correta, no entanto, os que acertaram justificaram que o feixe

de luz amarelo interferia nas cores da bandeira, porém não sabiam qual a cor da bandeira que iria aparecer.

Na última questão da atividade foi indagado se eles conheciam espelho convexo? Marcasse SIM ou NÃO e justificasse sua resposta.

Tabela 11: Quantitativo de resposta da 10ª questão.

Resposta Sim	8
Resposta Não	9
Não respondeu	3

Fonte: próprio autor

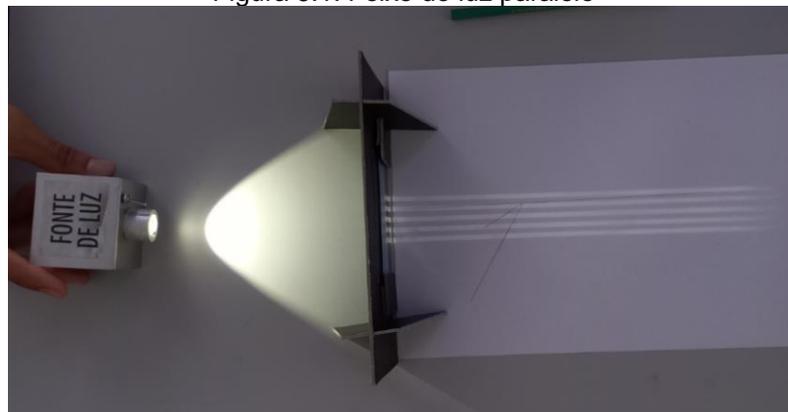
Já nessa questão a maior parte dos estudantes não conheciam espelhos convexo, um quantitativo de 60% dos estudantes. E os estudantes que afirmaram que conheciam, uns responderam que são “espelhos arredondados”, outros que tem “formato de prato raso”, “um espelho curvado”, “Um espelho com uma curvatura parecido com um C”, mas nenhum deles comentaram qual dos lados seria a parte refletora.

6.2 Experimentos com kit didático – aventuras na ciência

Com a realização dos experimentos em sala de aula observamos a interação dos estudantes uns com os outros, como também o empenho de cada um e também coletivamente para que os experimentos fossem realizados da melhor forma possível.

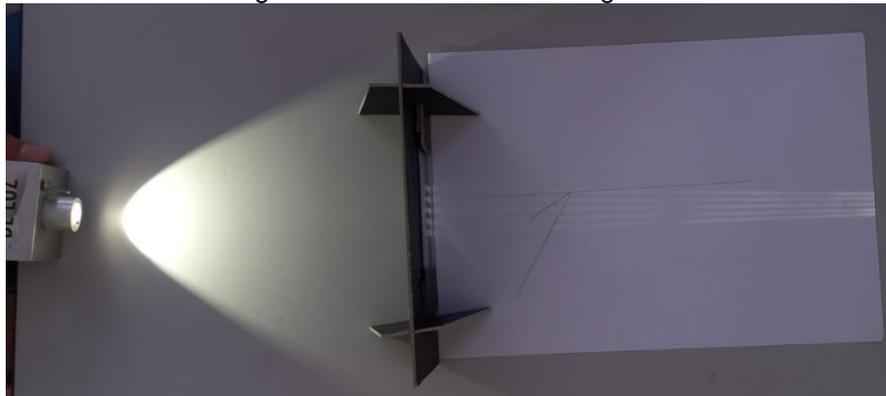
Primeiramente, os estudantes divididos em grupos realizaram um experimento que visualizassem os feixes de luz em paralelo, convergente e divergentes. Como mostra as figuras abaixo.

Figura 6.1: Feixe de luz paralelo



Fonte: Acervo do autor

Figura 6.2: Feixe de luz convergente



Fonte: Acervo do autor

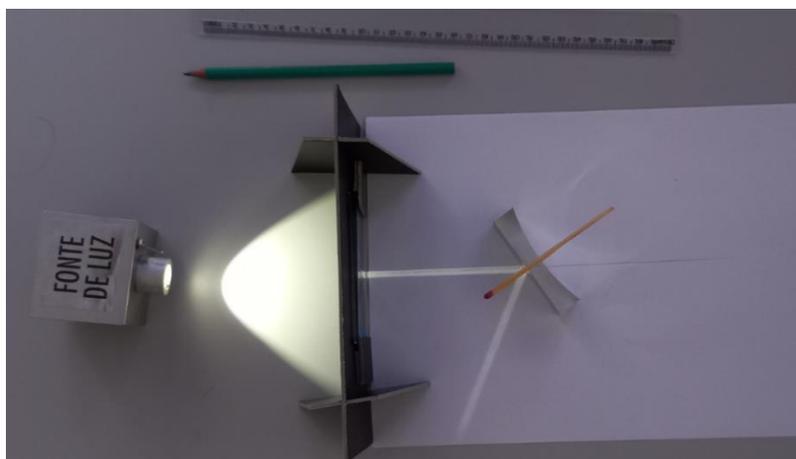
Figura 6.3: Feixe de luz divergente



Fonte: Acervo do autor

O segundo experimento foi realizado para observar a reflexão em um espelho plano como também para comprovar as leis da reflexão, que diz, 1^o lei: Os raios de luz incidente, a reta normal e o raio de luz refletido são coplanares. 2^o lei: Os ângulos de incidência e reflexão têm a mesma medida.

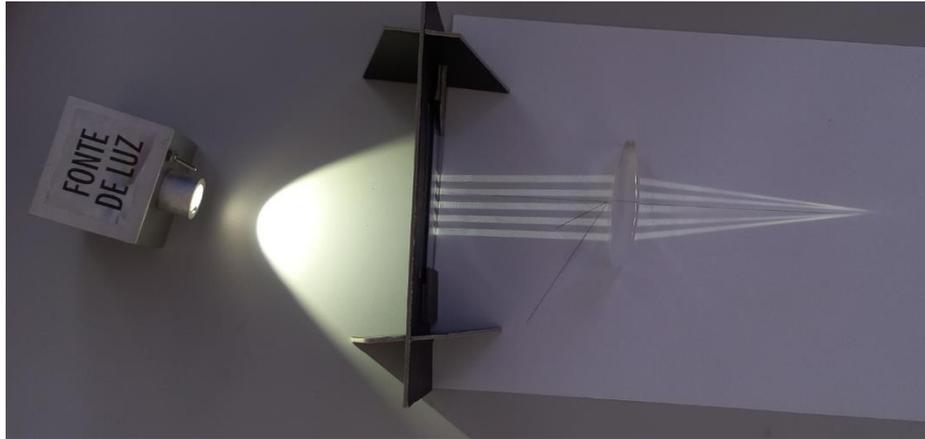
Figura 6.4: Imagem da reflexão e mostrando o ângulo incidente e refratado



Fonte: Acervo do autor

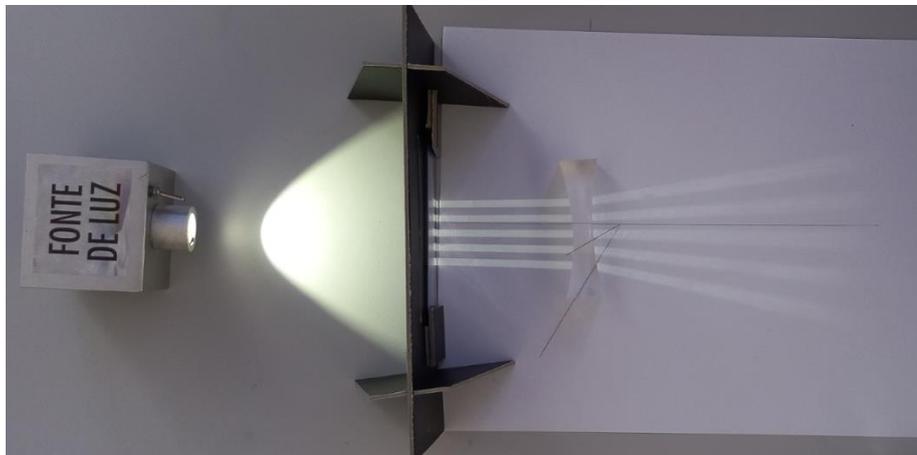
O próximo experimento foi realizado para observar como o feixe de luz se comportava ao atravessar as lentes biconvexa e bicôncava, que segundo a análise podemos averiguar que quando o feixe de luz é refratado em uma lente biconvexa os raios de luz convergem para um único ponto, que chamamos de foco imagem real. Já os raios de luz quando refrata numa lente bicôncava os raios de luzes divergem de tal forma que seus prolongamentos convergirão para o foco imagem virtual.

Figura 6.5: Feixe de luz convergindo ao passar por uma lente biconvexa.



Fonte: Acervo do autor

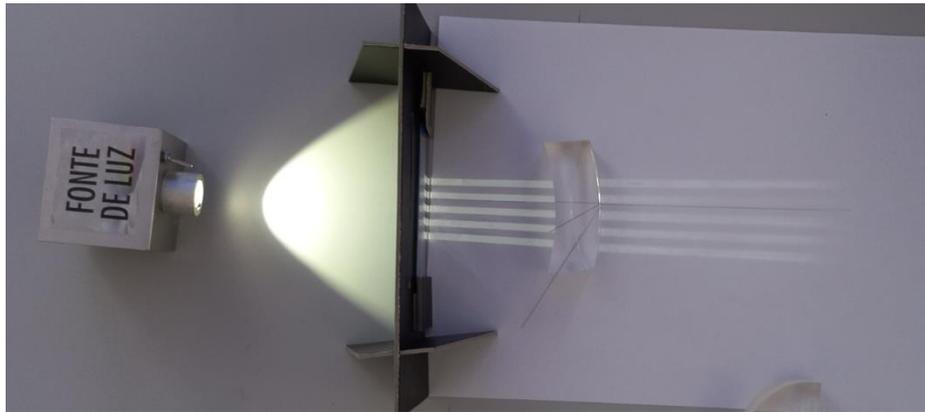
Figura 6.6: Feixe de luz divergindo ao passar por uma lente bicôncava.



Fonte: Acervo do autor

Logo após a realização do experimento acima os estudantes conjugaram as duas lentes e observaram que o feixe de luz não sofria desvio, ou seja, uma lente corrigia o desvio da outra, fazendo com que o feixe de luz continuasse propagando-se em paralelo.

Figura 6.7: Imagem da junção das lentes biconvexa e bicôncava.



Fonte: Acervo do autor

E para finalizar, os estudantes realizaram o experimento da decomposição ou dispersão da luz branca utilizando um prisma de vidro, lançando o raio de luz branca em um prisma de forma que o raio penetre em uma das faces e decompõe-se em infinitos raios de luz monocromática (espectro de luz), na outra face do prisma.

Figura 6.8: Imagens da decomposição da luz branca.

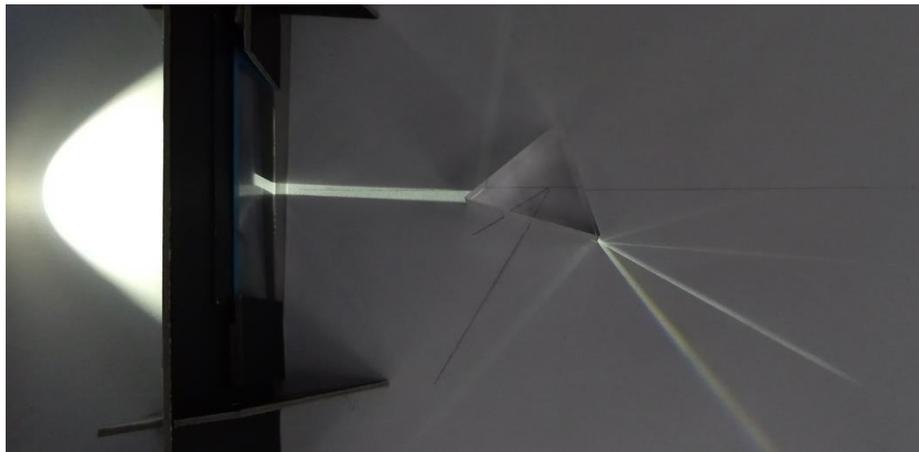


Figura 6.9: Imagens da decomposição da luz branca.



Fonte: Acervo do autor

Figura 6.10: Imagens da decomposição da luz branca.



Fonte: Acervo do autor

6.3 Aplicação dos jogos da trilha da Óptica Geométrica e Óptica Master

Com a aplicação dos jogos observamos a interação dos estudantes uns com os outros na tentativa de ajudar e compartilhar seus conhecimentos entre eles dentro dos grupos que participavam. Analisamos também o compromisso, o empenho e a dedicação de cada estudante, ou seja, didática que chamou e prendeu a atenção durante aplicação dos jogos.

Nessa perspectiva, o jogo enquanto ferramenta de aprendizagem vai se desenvolver de forma positiva, se o educador souber trabalhar adequadamente com ele. É sabido que muitos veem este tipo de atividade como atividade de disputa, mas dependendo do mediador saber contornar essa situação em uma disputa saudável em que todos ganham em conhecimento.

Diante do pressuposto, todas as regras e descrições de como utilizar e aplicar os jogos em suas aulas estão dispostos na SD (apêndice D), e as cartas estão no (apêndice C). Não deixando de explanar que o mesmo pode ser adaptado para outros conteúdos de Física, como também para qualquer componente curricular.

As imagens abaixo são do jogo da Trilha da Óptica Geométrica.

Figura 6.11: Imagens da Trilha e cartas com as perguntas.



Figura 6.12: Imagens de um dos grupos.



Fonte: Acervo do autor

Figura 6.13: Imagens do outro grupo.



Fonte: Acervo do autor

Figura 6.14: Imagens de mais dois grupos.



Fonte: Acervo do autor

A partir de agora as imagens são dos jogos da Óptica Master.

Figura 6.15: Imagens das cartas da Óptica Master.



Fonte: Acervo do autor

Figura 6.16: Imagens de um grupo

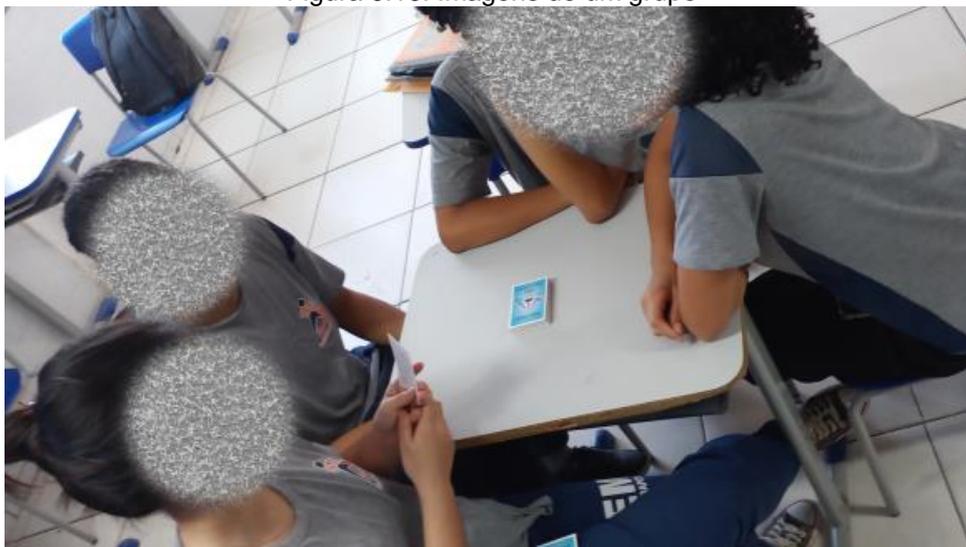


Figura 6.17: Imagens de outro grupo



Figura 6.18: Imagens de mais um grupo



Fonte: Acervo do autor

Figura 6.19: Imagens de todos os grupos.



Fonte: Acervo do autor

6.4 Avaliação pós aplicação da SD

Durante a aplicação da avaliação pós-teste (Apêndice B), estiveram presentes 12 estudantes dos 21 estudantes da sala, ou seja, nove estudantes ausentes neste dia. A avaliação foi aplicada com praticamente as mesmas questões da avaliação diagnóstica, com apenas algumas questões redigidas na sua redação, mas com o mesmo intuito.

Na questão onde abordamos sobre a definição de luz, obtivemos as seguintes respostas.

Tabela 12: Quantitativo de resposta da 1ª questão pós-teste.

Resposta correta	9
Resposta errada	4
Não respondeu	0

Fonte: próprio autor

Com a análise desta questão, observamos que 75% dos estudantes acertaram a questão, o que implicava ressaltar que tivemos um acréscimo em relação a avaliação diagnóstica (pré-teste). E nenhum estudante deixou de responder à questão.

Já nesta questão, foi analisado sobre o raio de luz que propagasse ou não em um meio material, como classificaríamos esse material?

Tabela 13: Quantitativo de resposta da 2ª questão pós-teste.

Resposta correta	8
Resposta errada	4
Não respondeu	0

Fonte: próprio autor

Podemos observar que 60% dos estudantes acertaram a questão, tivemos um aumento no quantitativo de estudantes em relação a atividade diagnóstica aplicada antes da aplicação da SD.

Na tabela abaixo onde questionamos os estudantes em relação ao raio de atingir uma superfície entre dois meios, pode ocorrer alguns fenômenos, segundo a óptica geométrica podemos classificar como:

Tabela 14: Quantitativo de resposta da 3ª questão pós-teste.

Resposta correta	6
Resposta errada	5
Não respondeu	1

Fonte: próprio autor

Ao analisar a terceira questão, observamos que 50% acertaram a questão, e que o quantitativo foi muito parecido com o quantitativo do obtido na atividade diagnóstica, com uma pequena elevação para as respostas corretas e diminuiu consideravelmente os estudantes que deixaram a questão sem responder.

Nessa questão apresentada abaixo indagamos sobre como o estudante vê a imagem da palavra ESCOLA conjugada no espelho plano?

Tabela 15: Quantitativo de resposta da 4ª questão pós-teste.

Resposta correta	9
Resposta errada	2
Não respondeu	1

Fonte: próprio autor

Percebemos que para esta questão os resultados foram bem próximo da relatada na avaliação diagnóstica, com uma pequena elevação no percentual de acerto. O quantitativo nessa questão foi de 75% e na avaliação diagnóstica foi de 70%, mas observamos que uma maior parte dos estudantes escreveram corretamente a palavra ESCOLA com veria a imagem no espelho.

Na próxima questão sobre o comportamento de três feixe de luz emitido de posições diferentes, nas cores azul – A, verde – B e vermelho – C, e considerando que os três feixes têm a mesma intensidade e se cruzam na posição 4, as cores vistas pelo estudante nas posições 1, 2, 3 e 4, respectivamente, são?

Tabela 16: Quantitativo de resposta da 5ª questão pós-teste.

Resposta correta	9
Resposta errada	1
Não respondeu	1

Fonte: próprio autor

Já nessa questão não podemos deixar de relatar e observar o grande avanço dos estudantes em relação a avaliação diagnóstica, com 75% de acerto em relação a 20% da avaliação diagnóstica.

No quadro abaixo relacionamos a questão sobre um dos princípios de propagação da luz que diz: Dois raios de luz que se propagam num meio homogêneo e transparente, se cruzam num certo ponto, após o cruzamento dos dois raios de luzes, podemos afirmar que continuam se propagando na mesma direção e sentido que antes?

Pedimos que o estudante marcasse a alternativa certo ou errado e justificasse sua resposta.

Tabela 17: Quantitativo de resposta da 6ª questão pós-teste.

Resposta correta	10
Resposta errada	2
Não respondeu	0

Fonte: próprio autor

Com a análise da questão podemos observar que houve uma evolução na resposta correta dos estudantes em relação ao trabalho diagnóstico aplicado antes de iniciar a sequência didática (SD). Tanto nas questões consideradas corretas quanto na quantidade de estudantes que deixaram sem responder, ou seja, nenhum estudante deixou sem responder essa questão.

Na sétima questão abordamos sobre: (UFB) A propriedade óptica que afirma que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão é válida somente para os espelhos planos?

Tabela 18: Quantitativo de resposta da 7ª questão pós-teste.

Resposta correta	7
Resposta errada	4
Não respondeu	1

Fonte: próprio autor

Observamos que a maior parte dos estudantes responderam corretamente à questão, apreciando que a maioria entendeu o assunto abordado na questão mencionada.

Na tabela seguinte, a análise foi realizada em relação a seguinte questão. O ângulo de incidência, em um espelho plano, é de 30° . O valor do ângulo formado entre o raio refletido e a superfície é 75° ? Marque certo ou errado e justifique:

Tabela 19: Quantitativo de resposta da 8ª questão pós-teste.

Resposta correta	6
Resposta errada	5
Não respondeu	1

Fonte: próprio autor

Na análise dessa questão observamos que 50% dos estudantes acertaram a questão, mesmo assim, tivemos uma evolução em relação ao trabalho aplicado antes da sequência didática, porque muitos dos estudantes deixaram a questão sem responder e agora após a aplicação da SD somente um.

Na tabela seguinte, mostramos a análise das respostas sobre a pergunta: (Unirio-RJ) Durante a final da copa do mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais gravou cena em um estúdio, onde existia uma bandeira da “Azzurra” com as cores (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarelo monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu da mesma cor, marque Sim ou Não e justifique sua resposta.

Tabela 20: Quantitativo de resposta da 9ª questão pós-teste.

Resposta correta	7
Resposta errada	5
Não respondeu	0

Fonte: próprio autor

Podemos ressaltar que nessa questão houve um leve avanço em quesito as respostas corretas em porcentagem.

Na última questão da atividade foi questionado sobre o que acontece com a luz quando atravessa de um meio como o ar para outro como a água?

Tabela 21: Quantitativo de resposta da 10ª questão pós-teste.

Resposta correta	8
Resposta errada	3
Não respondeu	1

Fonte: próprio autor

Ao analisar esta questão, observamos que os estudantes se saíram bem, com um quantitativo maior que 65% de acerto, vale ressaltar que apenas um estudante ficou sem responder à questão devido não ter participado de todas as aulas da SD.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, abordamos os assuntos sobre Óptica geométrica: conceitos básicos, leis da reflexão e refração, propagação retilínea da luz como também a decomposição ou dispersão da luz por meio de uma metodologia que não seja usualmente baseada em transmissão de saberes isolados sem conexão com a realidade do estudante, e descrevemos certos aspectos do dia-a-dia dos mesmo na disciplina Física. Baseado nestas observações construímos uma Sequência Didática fundamentada nas teorias de Aprendizagem Significativa de Marcos Moreira e David Ausubel.

Inicialmente apresentamos os fenômenos físicos que são abordados no estudo da Física de forma que os mesmos façam significados no cotidiano dos estudantes, de forma direta, que os estudantes consigam despertar sua curiosidade em relação aos experimentos apresentados.

Nessa perspectiva, os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com a necessidade de buscarmos novas ferramentas metodológicas, despertando o estudante de mero expectador para que o mesmo seja participante e construtor de seu próprio conhecimento. E o uso de experimentos e jogos bem organizados, com regras claras e bem estabelecidas, fazem muito bem esse papel, desenvolvem e envolve-se o estudante em seu processo de ensino-aprendizagem. Durante a aplicação dos experimentos e dos jogos foi evidente a excelente receptividade e o entusiasmo dos alunos ao participarem das atividades, mostrando dedicação na montagem dos experimentos, buscando maneiras diferentes de realizar da melhor forma possível o experimento e esforços na competição dos jogos, sendo este um ponto motivador da aprendizagem.

E quando há respostas positivas ao material de aprendizagem há evidências de que o material é potencialmente significativo, uma vez que se relacionou com os subsunçores dos estudantes, promovendo uma aprendizagem significativa.

Os resultados revelados a partir dos dados coletados através dos questionários respondidos pelos estudantes antes da aplicação e após a aplicação da SD, podemos assim relacionar algumas considerações a respeito do produto educacional intitulado “Experimentação e Gamificação na Óptica”. Percebemos com os resultados obtidos na avaliação diagnóstica (Pré-teste), que os estudantes não tinham um conhecimento prévio sobre os conceitos da óptica geométrica, suas leis de reflexão e refração da

luz, propagação da luz e decomposição ou dispersão da luz, ou seja, não tinham conhecimento especificamente relevante na estrutura cognitiva, chamado de “Subsunçor ou ideia âncora”.

Já na atividade realizada pós aplicação da Sequência Didática, tivemos um grande avanço em relação as respostas explanadas pelos estudantes, podemos citar como exemplos, a primeira questão que aborda o conceito de luz, onde na avaliação diagnóstica tivemos 90% de resposta erradas e na avaliação pós SD, tivemos um quantitativo de acerto de 75% dos estudantes presentes. Como também nas demais questões da avaliação pós SD, tivemos crescimento nas respostas corretas, sendo assim, sinto-me seguro em afirmar que o aproveitamento dos estudantes foi acima da expectativa.

Na etapa da realização dos experimentos deu para perceber o brilho nos olhos, a alegria contagiante dos estudantes durante a realização dos experimentos, o engajamento de cada um no processo de montagem, uns ajudando os outros e cada um de seu jeito procurando realizar o experimento não só na maneira que estava no roteiro ou explicado pelo professor, mas procurando novas alternativas para realização dos experimentos.

Nesse sentido, durante os jogos da Trilha Geométrica como também da Óptica Master o engajamento e a motivação dos estudantes em querer participar dos jogos foram imediatos, isso nos faz pensar no quanto o lúdico é uma didática essencial tanto para a socialização como também para um ensino que seja significativo para os estudantes. Vale ressaltar que durante a realização dos experimentos como na participação dos jogos, os estudantes foram divididos em grupos.

Segundo Ramos e Ferreira (2001), os jogos têm importância fundamental no ensino de Física, pois é um recurso pedagógico que apresenta diversas possibilidades para a construção do conhecimento dos estudantes.

Por fim, temos como aspectos positivos da SD, além de ter obtido bons resultados com o ensino-aprendizado dos estudantes acerca dos assuntos envolvidos, enfatizo o fato do entusiasmo e engajamento dos estudantes a ponto de quererem participar das aulas e sentirem-se motivados a querer entender os assuntos trabalhados durante PE. Nessa perspectiva, não podemos deixar de evidenciar que obtivemos um grande avanço em relação as atividades aplicadas antes da avaliação diagnóstica (pré-teste) e depois da realização da SD, reaplicamos a atividade de pós-teste, nesse contexto os estudantes desfrutaram de uma aprendizagem

potencialmente significativa, adquirindo conhecimento sobre os assuntos propostos na SD.

REFERÊNCIAS

ALVES, Vagner C.; STACHAK, Marilei. **A importância de aulas experimentais no processo ensino aprendizagem: eletricidade**. Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE – Presidente Prudente – São Paulo.

AS DIFICULDADES na Aprendizagem da Física no Primeiro Ano do Ensino Médio da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Osvaldo Cruz. Capitão Poço: 2012. Acessado em: www.brasilecola.uol.br

BRANDÃO, C. F. **LDB: passo a passo: Lei de Diretrizes e Bases da educação Nacional**. Comentada e interpretada, artigo por artigo. 2ª ed. Atualizada. São Paulo: Ed. Avercamp, 2005.

BRASIL, **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica**. Brasília: Ministério da Educação, 2013.

BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2000. Disponível em: <www.mec.gov.br>. Acesso em: 04/07/2022.

CAVALCANTE, K. **A Importância da Matemática do Ensino Fundamental na Física do Ensino Médio**. Canal do Educador, Estratégia de Ensino, Física. Disponível em: <<https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/a-importancia-matematica-ensino-fundamental-na-fisica-.htm>>. Acesso em 02 de julho de 2022.

DIAS-DA-SILVA, M. H. G. F. **O professor e seu desenvolvimento profissional: superando a concepção do algeoz incompetente**. Caderno CEDES, Campinas, SP, vol. 19 n. 44, p. 33-45, 1998.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda, **Miniaurélio Século XXI: O minidicionário da língua portuguesa** / Aurélio Buarque de Holanda Ferreira; coordenação de edição, Margarida dos anjos, Marina Baird Ferreira; lexicografia dos Anjos... [et al.] Ed. Ver. Ampliada. – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2000.

GLEISER, Marcelo. **Por que Ensinar Física? A Física na Escola**, v.1, n.1, p. 4-5, 2000.

Hewitt, Paul G. - **Física conceitual [recurso eletrônico]** / Paul G. Hewitt ; tradução: Trieste Freire Ricci ; revisão técnica: Maria Helena Gravina. – 12. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2015.

MORAES, José U. P.; SILVA JUNIOR, Romualdo S. Experimento Didático no Ensino de Física com Foco na Aprendizagem Significativa. **Revista Meaningful Learning Review**, vol. 4, pag. 61-67, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325576088>. Acesso em: 16/05/2024.

MOREIRA, M A. **Aprendizagem significativa em mapas conceituais** (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2013)

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica** (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2005).

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente**, – V1(3), p. 25-46, 2011.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2012).

MOREIRA, Marco A. (1999). **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB. 129 p.

MOREIRA, Marco A. **Desafios no ensino da física**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, suppl. 1, e20200451 (2021), DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>; acessada no dia 24/06/2023.

MOREIRA, Marco António. **Aprendizagem significativa crítica** (critical meaningful learning). Teoria da Aprendizagem Significativa, v. 47, 2000.

NUSSENZVEIG, H. M.; BAGNATO, V. S. **Óptica geométrica: aventuras com raios de luz**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Programa da Pró-Reitoria de Graduação, Instituto de Física de São Carlos, Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica, 2012. (kit Aventuras na Ciência).

Nussenzveig, Herch Moyses - **Curso de física básica, 4: ótica, relatividade, física quântica** / H. Moyses Nussenzveig. - 2. ed. - Sao Paulo: Blucher, 2014.

RAMOS, Eugênio Maria de França. FERREIRA, Noberto Cardoso. **Brinquedos e jogos no ensino de Física**. In: NARDI, Roberto. (Org). Pesquisas no ensino de física. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, p. 137-150, 2001.

SILVA LEITE, B. **Gamificando as aulas de química: uma análise prospectiva das propostas de licenciados em química**. Revista Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, v. 15, n. 2, 2017. DOI: 10.22456/1679-1916.79259. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/renote/article/view/79259>. Acesso em: 16 maio. 2024.

SILVA, João Batista da; SALES, Gilvandenys Leite; CASTRO, Juscilde Braga. **Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 41, nº 4, e20180309 (2019), DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0309>; acessada em: 22/11/2022.

SILVA, Luzia Marinalva Da et al. **O jogo e a aprendizagem significativa**. Anais III ENID / UEPB... Campina Grande: Realize Editora, 2013. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/4774>>. Acesso em: 22/11/2022.

SOARES, M. H. F. B. **O lúdico em Química: jogos e atividades aplicados ao ensino de Química**. 2004. 219 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

APÊNDICE A – QUESTIONARIO INICIAL (AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA)

AVALIAÇÃO DIAGNOSTICA

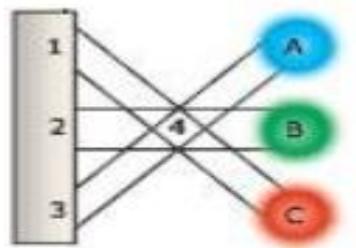
1 – Diga o que é luz?

2 – Diga como é a luz em outros meios (água, gás, espaço etc)?

3 – O que acontece quando um raio de luz atinge uma superfície que separa entre dois meios, por exemplo, água e ar?

4 - Uma pessoa coloca diante de um espelho plano uma placa onde está escrita a palavra ESCOLA, Como a pessoa vê a imagem desta palavra conjugada no espelho?

5 - (UEPB/2006) Durante o Maior São João do Mundo, realizado na cidade de Campina Grande, um estudante de Física, ao assistir a um show, decidiu observar o comportamento dos feixes de luz emitidos por três canhões, os quais emitiam luz nas seguintes cores: canhão **A- luz azul**; canhão **B- luz verde**; canhão **C- luz vermelha**, como mostra a figura abaixo.



Fonte: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=64554>

Considerando que os três feixes de luz têm a mesma intensidade e se cruzam na posição 4, as cores vistas pelo estudante nas regiões iluminadas 1, 2 e 3 do palco, e na posição 4, são, respectivamente:

6 – Dois raios de luz, que se propagam num meio homogêneo e transparente, se interceptam num certo ponto. A partir deste ponto, pode-se afirmar que continuam se propagando na mesma direção e sentido que antes.

Certo

Errado

Justifique:

7 – De acordo com seus conhecimentos, quando é que ocorre a reflexão?

8 - (PUC – SP - Adaptada) O ângulo de incidência, em um espelho plano, é de 30° . O valor do ângulo formado entre o raio refletido e a superfície é 75° ?

Certo

Errado

Justifique:

9 - (Unirio-RJ) Durante o final da Copa do Mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais gravou cena em um estúdio completamente escuro, onde existia uma bandeira da “Azzurra” (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarela monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu da mesma cor:

Certo

Errado

Justifique sua resposta:

10 – Você sabe o que é espelho convexo?

sim

Não

Justifique sua resposta:

APÊNDICE B – QUESTIONARIO FINAL (PÓS-TESTE)

EXERCÍCIO DE FÍSICA

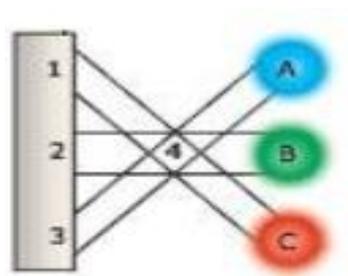
1 – De acordo com seu conhecimento, qual a definição de luz?

2 – A luz tem interação com o meio, de acordo com que a luz se propaga ou não com o mesmo, podemos classificar como?

3 – Quando um raio de luz atinge uma superfície entre dois meios, pode ocorrer alguns fenômenos que segundo a óptica geométrica podemos classificar com:

4 - Uma pessoa coloca diante de um espelho plano uma placa onde está escrita a palavra ALUNO, Como a pessoa vê a imagem desta palavra conjugada no espelho?

5 - (UEPB/2006) Durante o Maior São João do Mundo, realizado na cidade de Campina Grande, um estudante de Física, ao assistir a um show, decidiu observar o comportamento dos feixes de luz emitidos por três canhões, os quais emitiam luz nas seguintes cores: canhão A- **luz azul**; canhão B- **luz verde**; canhão C- **luz vermelha**, como mostra a figura abaixo.



Fonte: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=64554>

Considerando que os três feixes de luz têm a mesma intensidade e se cruzam na posição 4, as cores vistas pelo estudante nas regiões iluminadas 1, 2 e 3 do palco, e na posição 4, são, respectivamente:

6 – Dois raios de luz, que se propagam num meio homogêneo e transparente, se interceptam num certo ponto. A partir deste ponto, pode-se afirmar que continuam se propagando na mesma direção e sentido que antes.

() Sim

() Não

Justifique:

7 – (UFB) A propriedade óptica que afirma que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão é válida somente para os espelhos planos?

() Sim

() Não

Justifique:

8 - (PUC – SP - Adaptada) O ângulo de incidência, em um espelho plano, é de 30° . O valor do ângulo formado entre o raio refletido e a superfície do espelho é 75° ?

() Certo

() Errado

Justifique:

9 - (Unirio-RJ) Durante o final da Copa do Mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais gravou cena em um estúdio completamente escuro, onde existia uma bandeira da “Azzurra” (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarela monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu da mesma cor?

() Sim

() Não

Justifique sua resposta:

10 – Quando é que podemos classificar um espelho como convexo?

APÊNDICE C – CARTAS DOS JOGOS (FRENTE E VERSO)

<p>1. Um quadro coberto com uma placa de vidro plano, não pode ser visto tão nitidamente quanto outro não coberto, porque o vidro:</p> <p>a) é opaco; b) é transparente; c) não reflete a luz; d) reflete parte da luz;</p>	<p>2. Você pode ver a folha de um livro, porque ela:</p> <p>a) é feita de celulose; b) possui luz e a emite; c) é branca e absorve a luz; d) difunde a luz para seus olhos;</p>	<p>3. Qual das afirmações abaixo é correta?</p> <p>a) a velocidade da luz é igual a velocidade do som; b) a luz se propaga em linha reta; c) a velocidade da luz solar é maior que a da luz de uma vela; d) a luz não se propaga no vácuo;</p>
<p>4. O vidro fosco é um meio:</p> <p>a) opaco; b) translúcido; c) transparente; d) nenhuma das anteriores;</p>	<p>5. À medida que a luz solar penetra na água, em locais de grande profundidade, ela vai se transformando em outro tipo de energia (geralmente em energia calorífica). Este fenômeno é conhecido por:</p> <p>a) difusão; b) mutação; c) absorção; d) refração;</p>	<p>6. Os corpos que permitem a passagem parcial da luz se chamam:</p> <p>a) opacos; b) transparentes; c) translúcidos; d) luminosos;</p>
<p>7. A luz se propaga:</p> <p>a) em linha curva; b) somente no ar; c) num só sentido; d) em linha reta;</p>	<p>8. Quando ocorre um eclipse parcial do Sol, o observador se encontra:</p> <p>a) na sombra; b) na penumbra; c) na região plenamente iluminada; d) nenhuma das anteriores;</p>	<p>9. Uma fonte luminosa projeta luz sobre as paredes de uma sala; um pilar intercepta parte desta luz. A penumbra que se observa é devida:</p> <p>a) ao fato de não ser pontual a fonte luminosa; b) ao fato de não se propagar a luz em linha reta; c) aos fenômenos de interferência da luz depois de tangenciar os bordos do pilar; d) aos fenômenos de difração;</p>

10. À noite, numa sala iluminada, é possível ver os objetos da sala por reflexão numa vidraça melhor do que durante o dia. Isso ocorre porque, à noite:

- a) aumenta a parcela de luz refletida pela vidraça;
- b) não há luz refletida pela vidraça;
- c) diminui a parcela de luz refratada, proveniente do exterior;
- d) aumenta a parcela de luz absorvida pela vidraça;

11. Um observador A, olhando num espelho, vê um outro observador B. Se B olhar no mesmo espelho, ele verá o observador A. Esse fato é explicado pelo:

- a) princípio da propagação retilínea da luz;
- b) princípio da independência dos raios luminosos;
- c) princípio da reversibilidade dos raios luminosos;
- d) princípio da propagação curvilínea da luz;

12. Dois faroletes emitem feixes de luz que se interceptam. Após o cruzamento dos feixes:

- a) um feixe se reflete no outro feixe;
- b) os dois feixes se juntam formando um único feixe;
- c) os feixes continuam sua propagação como se nada tivesse acontecido;
- d) os feixes diminuem de intensidade;

13. Uma lâmpada apagada não pode ser vista no escuro porque:

- a) ela não é fonte de luz primária mesmo quando acesa;
- b) ela é uma fonte secundária de luz;
- c) ela é uma fonte primária de luz;
- d) o meio não é transparente;

14. Dentre as alternativas escolha a que contém apenas fontes primárias de luz:

- a) pilha de lanterna, Sol e fósforo;
- b) Sol, Lua e lâmpada elétrica;
- c) Lâmpada elétrica, fósforo e Sol;
- d) Sol, lâmpada acesa e estrelas;

15. A sombra de uma nuvem sobre o solo tem a mesma forma e o mesmo tamanho que a própria nuvem porque os raios solares são:

- a) praticamente paralelos;
- b) muito divergentes;
- c) pouco numerosos;
- d) todos convergentes a um mesmo ponto;
- e) muito numerosos;

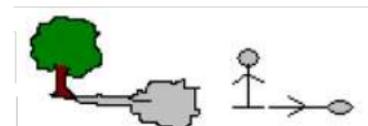
16. Qual dos seguintes objetos seria visível numa sala perfeitamente escurecida?

- a) um espelho;
- b) qualquer superfície clara;
- c) um fio aquecido ao rubro;
- d) uma lâmpada desligada;
- e) um gato preto;

17. Os eclipses do Sol e da Lua comprovam o princípio da:

- a) reversibilidade dos raios luminosos;
- b) independência dos raios luminosos;
- c) refração da luz;
- d) propagação retilínea;

18. A incidência dos raios solares faz com que os extremos das sombras do homem e da árvore coincidam. O homem tem 1,80 m de altura e sua sombra mede dois metros. Se a sombra da árvore mede 5 m, qual a altura desta árvore?



- a) 4,5 m
- b) 5,5 m
- c) 6,5 m
- d) 7,5 m

19. Um lápis está na posição vertical a 20 cm de um espelho plano, também vertical, que produz uma imagem desse lápis. A imagem do lápis:

- a) é real e fica a 20 cm do espelho
- b) é virtual e fica a 20 cm do espelho
- c) é real e fica a 10 cm do espelho
- d) é virtual e fica a 10 cm do espelho

20. Quais as características da imagem observada num espelho plano?

- a) virtual, igual e antiomorfa
- b) real, invertida e maior
- c) virtual, igual e menor
- d) virtual, direita e real

21. Num relógio de ponteiros, cada número foi substituído por um ponto. Uma pessoa, ao observar a imagem desse relógio refletida em espelho plano, lê 8 horas. Se fizermos a leitura diretamente no relógio, verificaremos que ele está marcando:

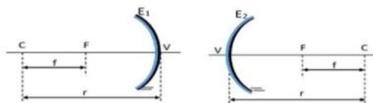


- a) 6 h
- b) 2 h
- c) 9 h
- d) 4 h

22. Dois espelhos planos fornecem 11 (onze) imagens de um objeto. Logo, podemos concluir que os espelhos formam um ângulo de: resp c

- a) 10°
- b) 36°
- c) 30°
- d) 25°

23. (OBF) Um holofote é um dispositivo que fornece um feixe de raios luminosos paralelos. Na figura abaixo temos um espelho côncavo E_1 e um espelho convexo E_2 . Utilizando uma lâmpada como fonte de luz, e um dos espelhos, onde deveríamos colocá-la para termos o efeito de um holofote? As letras F e C indicam a posição do foco e do centro de cada espelho e o detalhe em azul a superfície espelhada.



- a) Entre o foco F e o centro C do espelho E_1 .
- b) Entre o foco F e o centro C do espelho E_2 .
- c) No foco F do espelho E_2 .
- d) No foco F do espelho E_1 .

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



Devemos concluir que o índice de refração do meio B é:

- a) 0,5
- b) 1,0
- c) 1,2
- d) 1,5

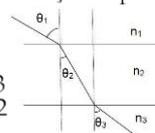
25. (Enem 2012) Alguns povos indígenas ainda preservam suas tradições realizando a pesca com lanças, demonstrando uma notável habilidade. Para fisgar um peixe em um lago com águas tranqüilas o índio deve mirar abaixo da posição em que enxerga o peixe. Ele deve proceder dessa forma porque os raios de luz:

- a) refletidos pelo peixe não descrevem uma trajetória retilínea no interior da água.
- b) emitidos pelos olhos do índio desviam sua trajetória quando passam do ar para a água.
- c) emitidos pelos olhos do índio são espalhados pela superfície da água.
- d) refletidos pelo peixe desviam sua trajetória quando passam da água para o ar.

26. (UDESC 2017/2) Na Figura abaixo, um raio de luz vindo de um meio material (1), de índice de refração n_1 , incide na interface que o separa do meio material (2), de índice de refração n_2 . A seguir, o raio refratado incide na interface que separa os meios materiais (2) e (3), sendo n_3 o índice de refração do meio material (3).

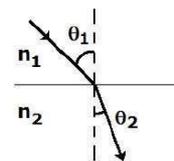
Analisar as proposições em relação à óptica geométrica.

- I. $\text{Sen } 1 = n_3$ então $\theta_1 = \theta_3$
- II. $\text{Sen } 1 > n_2$ então $\theta_1 > \theta_2$
- III. $\text{Sen } 2 > n_3$ então $\theta_2 > \theta_3$
- IV. $\text{Sen } 1 > n_2$ então $\theta_1 < \theta_2$
- V. $\text{Sen } 1 > n_3$ então $\theta_1 > \theta_3$



- Assinale a alternativa correta.
- a) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
 - b) Somente as afirmativas III e V são verdadeiras.
 - c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
 - d) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.

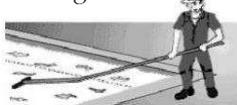
27. (UFRGS 2017) Um feixe de luz monocromática atravessa a interface entre dois meios transparentes com índices de refração n_1 e n_2 , respectivamente, conforme representa a figura abaixo.



Com base na figura, é correto afirmar que, ao passar do meio com n_1 para o meio com n_2 , a velocidade, a frequência e o comprimento de onda da onda, respectivamente:

- a) permanece, diminui e aumenta.
- b) aumenta, permanece e aumenta.
- c) diminui, permanece e diminui.
- d) diminui, diminui e permanece.

28. (UFMG) O empregado de um clube está varrendo o fundo da piscina com uma vassoura que tem um longo cabo de alumínio. Ele percebe que o cabo parece entortar-se ao entrar na água, como mostra a figura.



Isso ocorre por que:

- a) a luz do sol, refletida na superfície da água, interfere com a luz do sol refletida pela parte da vassoura imersa na água.
- b) a luz do sol, refletida pela parte da vassoura imersa na água sofre reflexão parcial na superfície de separação água-ar.
- c) a luz do sol, refletida pela parte da vassoura imersa na água, sofre reflexão total na superfície de separação água.
- d) a luz do sol, refletida pela parte da vassoura imersa na água, sofre refração ao passar pela superfície de separação

29. (UFG GO) O arco-íris é um fenômeno ótico em que a luz solar incide nas gotículas de água suspensas na atmosfera, gerando as cores do espectro eletromagnético. Nesse fenômeno, em que ordem ocorrem os processos físicos envolvidos?

- a) Refração, dispersão, reflexão e refração.
- b) Dispersão, refração, reflexão e refração.
- c) Dispersão, reflexão, refração e transmissão.
- d) Refração, dispersão, transmissão e refração.

30. (Unitau) Dois raios de luz, que se propagam em um meio homogêneo e transparente, interceptam-se em certo ponto. A partir desse ponto, pode-se afirmar que:

- a) os raios luminosos cancelam-se.
- b) mudam a direção de propagação.
- c) continuam propagando-se na mesma direção e sentido que antes.
- d) propagam-se em trajetórias curvas.

31. (IFCE) Considere as seguintes afirmativas.

I. Os meios transparentes são meios em que a luz os percorre em trajetórias bem definidas, ou seja, a luz passa por esses meios regularmente.

II. Nos meios translúcidos, a luz não se propaga. Esses meios absorvem e refletem essa luz, e a luz absorvida é transformada em outras formas de energia.

III. Nos meios opacos, a luz não passa por eles com tanta facilidade como nos meios transparentes: sua trajetória não é regular.

É(são) verdadeira(s):

- a) apenas I
- b) apenas II
- c) apenas III
- d) I e III

32. (UEL) Considere as seguintes afirmativas:

I- A água pura é um meio translúcido.

II- O vidro fosco é um meio opaco.

III- O ar é um meio transparente.

Sobre as afirmativas acima, assinale a alternativa correta.

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas a afirmativa II é verdadeira.
- c) Apenas a afirmativa III é verdadeira.
- d) Apenas as afirmativas I e a III são verdadeiras.

33. A refração da luz ocorre quando a luz atravessa algum meio refringente. Em relação a esse processo, podemos afirmar que:

- a) no processo de refração, a frequência da luz não se altera.
- b) no processo de refração, a velocidade da luz permanece constante.
- c) ao sofrer refração, a velocidade da luz e o seu comprimento de onda diminuem.
- d) na refração, a velocidade da luz só pode diminuir

34. Quando passa através de um vidro, a velocidade de um raio de luz torna-se $2,0 \cdot 10^8$ m/s. O índice de refração desse meio é de:

Dados: $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s

- a) 3,0
- b) 2,0
- c) 1,5
- d) 0,5

35. O índice de refração de um meio óptico transparente é de 1,8. Em relação a isso, é possível afirmar que:

- a) a velocidade da luz nesse meio é 1,8 vezes mais rápida do que no vácuo.
- b) a velocidade da luz nesse meio é 1,8 vezes mais lenta do que no vácuo.
- c) a frequência da luz refratada nesse meio é 1,8 vezes menor do que no vácuo.
- d) o comprimento de onda aumenta.

36. (UNIFOR - adaptada) O ângulo entre dois espelhos planos é de 20° . Um objeto de dimensões desprezíveis é colocado em uma posição tal que obterá várias imagens formadas pelo conjunto de espelhos. A quantidade de imagens formadas pela conjugação desses espelhos será igual a:

- a) 8
- b) 9
- c) 10
- d) 17

37. Um espelho plano fornece uma imagem de um objeto real:

- a) real e direita,
- b) virtual e invertida.
- c) real e menor.
- d) virtual e direita.

38. Suponha que exista um outro universo no qual há um planeta parecido com o nosso, com a diferença de que a luz visível que o ilumina é monocromática. Um fenômeno óptico causado por esta luz, que não será observado neste planeta, seria:

- a) a refração.
- b) a reflexão.
- c) a difração.
- d) o arco-íris.

39. Um comerciante deseja instalar um espelho esférico que lhe forneça um grande campo visual de seu comércio a fim de monitorá-lo mais eficientemente. O tipo de espelho mais indicado para tal fim é:

- a) um espelho plano.
- b) um espelho esférico côncavo.
- c) um espelho esférico convexo.

40. Um estudante de Física dispõe-se de uma grande quantidade de espelhos esféricos distintos. Durante uma aula prática, o seu professor pediu para que ele construísse um dispositivo capaz de captar a luz do Sol a fim de aquecer uma pequena panela. Esse aluno deve escolher um espelho:

- a) convexo.
- b) côncavo.
- c) parabólico.
- d) plano.

41. A dona de uma ótica resolveu comprar novos espelhos para que os seus clientes pudessem ver mais detalhes das armações vendidas na loja por meio de imagens ampliadas. O tipo de espelho escolhido pela empresária foi:

- a) plano.
- b) esférico.
- c) côncavos.
- d) convexo.

42. Motivado a enxergar mais carros que se aproximem da traseira do seu veículo, um motorista resolveu instalar um espelho esférico em um de seus retrovisores. Para sua surpresa, ele obteve somente imagens invertidas dos carros distantes. Qual foi o tipo de espelho escolhido pelo motorista e qual espelho seria a escolha correta?

- a) plano e esférico, respectivamente
- b) convexo e côncavo, respectivamente
- c) côncavo e convexo, respectivamente
- d) convexo e parabólico, respectivamente

43. Onde é posicionado um objeto para formar imagem invertida, real e maior em um espelho côncavo?

- a) Antes do centro de curvatura
- b) Em cima do centro de curvatura
- c) Entre o centro de curvatura e o foco
- d) entre o foco e a vértice

44. Qual tipo de espelho forma uma imagem virtual, direita e menor?

- a) espelho convexo
- b) espelho plano
- c) espelho côncavo
- d) espelho esférico

45. Quais as características das imagens formadas em um espelho plano?

- a) real, invertida e menor.
- b) virtual, direita e mesmo tamanho.
- c) real, direita e maior.
- d) virtual, direita e mesmo tamanho.

46. Um objeto com 20 cm está situado a 50 cm de uma câmara escura de orifício. Sabendo-se que a imagem formada tem 4 cm, determine a profundidade da caixa.

- a) 10 cm
- b) 12 cm
- c) 15 cm
- d) 20 cm

47. A luz amarela se propaga em um determinado vidro com velocidade de 200.000 km/s. Sendo 300.000 km/s a velocidade da luz no vácuo, determine o índice de refração absoluto do vidro para a luz amarela:

- a) $n = 1,2$
- b) $n = 1,3$
- c) $n = 1,4$
- d) $n = 1,5$

48. (UERN) Um feixe de luz proveniente de um meio A propaga-se em direção à superfície de separação com um meio B. Se o índice de refração do meio B em relação ao meio A é igual a 1,25, ao sofrer a refração, o feixe de luz teve sua velocidade:

- a) reduzida em 25%.
- b) reduzida em 20%.
- c) aumentada em 20%.
- d) aumentada em 25%.

49. Analise as afirmações a respeito da luz e suas propriedades:

I - A luz é uma forma de radiação eletromagnética.

II - A luz é uma onda de propagação transversal.

III - A luz propaga-se somente em meios materiais.

IV - A luz não pode ser polarizada.

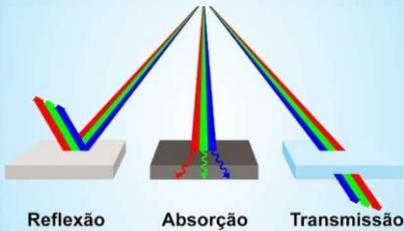
Com base em seus conhecimentos, são corretas:

- a) somente I
- b) somente II
- c) I e II
- d) II e IV

50. Entre os princípios de propagação dos raios de luz, qual deles tem o enunciado “nos meios transparentes, homogêneos e isotrópicos um raio de luz percorre trajetória retilínea”?

- a) Princípio de reversibilidade dos raios luminosos
- b) Princípio de reversibilidade dos raios luminosos
- c) Princípio de propagação retilínea dos raios luminosos
- d) Princípio de propagação curvilínea dos raios de luz

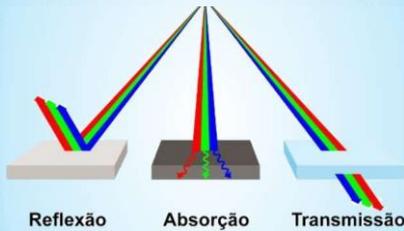
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

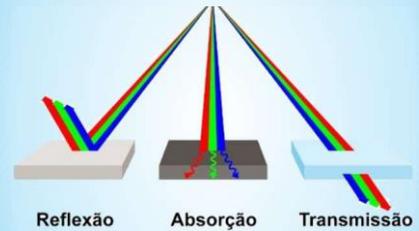
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

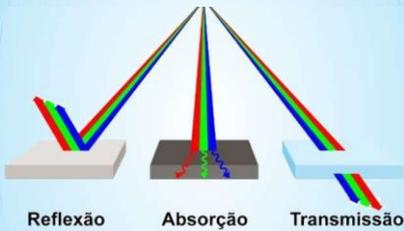
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

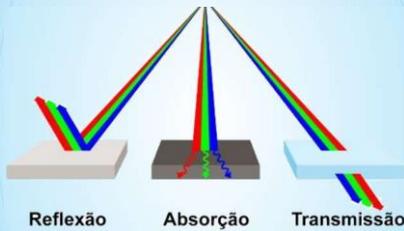
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

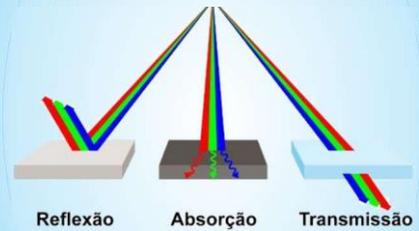
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

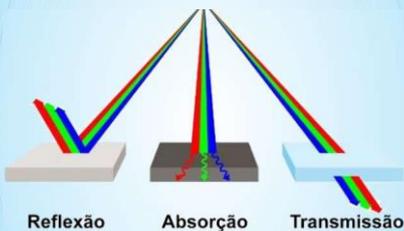
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

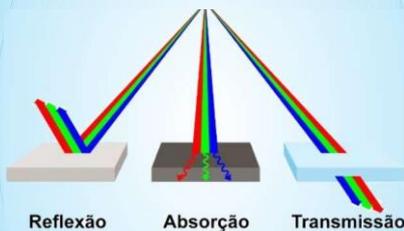
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

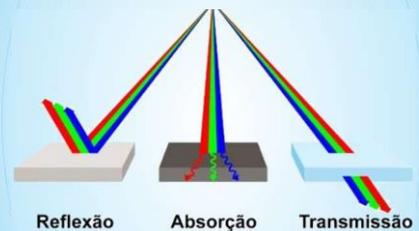
Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

Óptica Master



Reflexão Absorção Transmissão

FÍSICA
Óptica Geométrica

APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PIAUÍ



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacion
Profissional em
Ensino de Física

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF**

CÉLIO ROBERTO SANTOS PENHA ROSA

EXPERIMENTAÇÃO E GAMIFICAÇÃO NA ÓPTICA GEOMÉTRICA

**TERESINA
2024**

CÉLIO ROBERTO SANTOS PENHA ROSA

EXPERIMENTAÇÃO E GAMIFICAÇÃO NA ÓPTICA GEOMÉTRICA

**TERESINA
2024**

APRESENTAÇÃO

Esse produto Educacional (PE) é destinado aos professores que lecionam o componente curriculares de Física, para o ensino médio. Tem como objetivo de auxiliar os professores em suas aulas, para que as aulas sejam ministradas em um ambiente mais atraente proporcionando aos estudantes interação e incentivando uma maior dedicação aos estudos. Este trabalho está vinculado a dissertação de mestrado do programa de Mestrado Nacional Profissionalizante no Ensino de Física (MNPEF), ofertado pela Universidade Federal do Piauí (UFPI), sobre orientação da Prof. Dr. (a). Janete Batista de Brito.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Propagação retilínea da luz.....	11
Figura 2: Desvio da luz ao passar de um meio para outro	11
Figura 3: Como colocar a folha e montagem do suporte	11
Figura 4: Feixe de luz paralelo	12
Figura 5: Feixe de luz divergente	12
Figura 6: Feixe de luz convergente	12
Figura 7: Verificando o ângulo de incidência e o ângulo refletido	13
Figura 8: Cartas com as questões.....	15
Figura 9: Organização do jogo, o estudante lendo a pergunta para o outro do lado direito	16

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 COMPETÊNCIAS CONTEMPLADAS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)	17
1.1 COMPETÊNCIAS GERAIS	17
1.2 COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS	17
3 HABILIDADES CONTEMPLADAS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)	18
4 ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)	18
4.1 ETAPA 1 (UMA AULA).....	18
4.2 ETAPA 2 (DUAS AULAS)	19
4.3 ETAPAS 3 (DUAS AULAS)	19
4.3.1 Instruções de montagem dos experimentos	20
4.4 ETAPA 4 (DUAS AULAS)	22
4.5 ETAPA 5 (DUAS AULAS)	23
4.6 ETAPA 6 (UMA AULA).....	25
5 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE	25
APÊNDICES	26
APÊNDICE A – Questionário inicial	26
APÊNDICE B – Questionário final – Pós-teste	28
REFERÊNCIAS	30

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

TÍTULO: EXPERIMENTAÇÃO E GAMIFICAÇÃO NA ÓPTICA GEOMÉTRICA

Área: Ciências da Natureza

Componente curricular: Física

Etapa: 2ª série do ensino médio

Unidade Temática: Matéria e Energia

Objetivo de Conhecimento: Óptica Geométrica, reflexão, refração e dispersão da luz.

1 INTRODUÇÃO

Este produto faz parte da dissertação de mestrado com o objetivo de auxiliar professores que estejam ministrando aulas de física na segunda série do ensino médio. Propõe-se uma Sequência Didática para ensinar tópicos da Óptica Geométrica, como por exemplos, sobre os princípios de propagação da luz, reflexão, refração e dispersão da luz, com experimentos, jogos de tabuleiro e cartas como forma de auxiliar e ajudar no ensino-aprendizagem dos estudantes.

Como uma grande parte dos estudantes acham o ensino de física muito difícil de compreender seus conceitos, e relacionar as grandezas com suas respectivas unidades de medidas, isso nos leva a uma reflexão, porque os estudantes acham o componente curricular de física difícil, rotulando o mesmo como bicho papão?

Nessa direção, buscamos uma alternativa de assimilar o lúdico através de jogos de cartas, tabuleiros e experimentos como metodologia de ensino-aprendizagem para estudantes da segunda série do ensino médio no componente curricular de física, para que os mesmos saiam do abstrato, com as aulas teóricas e venha aprender de forma mais significativa, porque a combinação de atividades lúdicas com o ensino é um instrumento motivador que atrai e estimula o processo de construção do conhecimento do estudante e, de acordo com Soares (2004), é definida como uma ação divertida, independente do contexto.

Segundo (Moreira, 2012), aprendizagem significativa ocorre quando um novo conhecimento adquire significado na ancoragem interativa com algum conhecimento prévio especificamente relevante.

Nessa perspectiva, Segundo (Yamazaki, 2014) o aspecto lúdico é com frequência relacionado aos jogos e brincadeiras, podendo sua incorporação aos

métodos de ensino e proporcionar aos estudantes uma ativa participação no processo de ensino.

2 COMPETÊNCIAS CONTEMPLADAS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)

Nessa sessão apresentaremos as competências a serem contempladas na sequência didática.

1.1 Competências gerais

Competência 2: Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

Competência 7: Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta.

1.2 Competências específicas

Competência específica 1 - Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Competência específica 3 - Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

3 HABILIDADES CONTEMPLADAS NA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)

Nesta sessão apresentaremos as habilidades a serem contempladas e desenvolvidas na Sequência didática.

Habilidade (EM13CNT101) - Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

Habilidade (EM13CNT301) - Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Habilidade (EM13CNT303) - Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

4 ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA (SD)

Nessa sessão serão apresentadas as etapas da SD a serem desenvolvidas por qualquer professor, sendo que, foi aplicado no componente curricular de Física com os conteúdos da Óptica Geométrica, reflexão, refração e decomposição da luz.

4.1 Etapa 1 (uma aula)

Nesta etapa o objetivo foi apresentar para os estudantes como que o trabalho seria desenvolvido durante as próximas aulas e também a aplicação da primeira atividade, que servirá como uma sondagem para auxiliar o professor durante todo a

aplicação do Produto Educacional (PE). Essa etapa é muito importante porque deixa os estudantes situados de todos os processos que acontecerão durante as aulas e norteiam o professor durante seu planejamento, fazendo com que o mesmo desenvolva suas atividades de maneira mais objetiva, e assim, alcançando um melhor resultado.

Durante as atividades a sala será as vezes divididas em grupos menores para um desenvolvimento mais proveitoso durante a dinâmica e em outras vezes não.

4.2 Etapa 2 (duas aulas)

Objetivo:

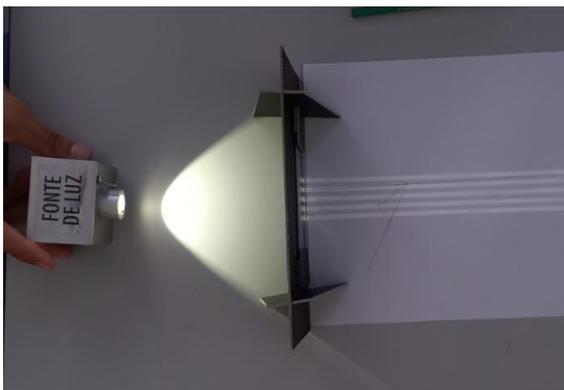
Nessa segunda etapa serão apresentados os conteúdos trabalhados na SD, como por exemplos, conceitos básicos da óptica geométrica, as leis e o princípios de propagação da luz, reflexão, refração e dispersão da luz, através de aulas expositivas e dialogadas, as aulas terão uma duração de 50 minutos cada, e relacionando alguns exemplos do seu cotidiano para um melhor entendimento dos conteúdos explanados.

4.3 Etapas 3 (duas aulas)

Objetivo:

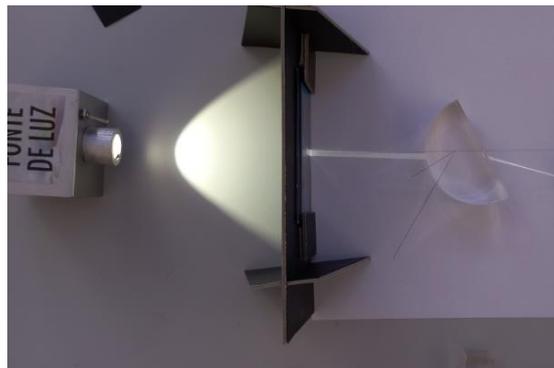
Na terceira etapa utilizamos o Kit didático “Aventuras na ciência” para realizar experimentos comprovando os princípios e as leis que regem a Óptica geométrica, com o objetivo que os estudantes relacione a parte teórica com a prática, podendo visualizar através do experimento e tendo um entendimento mais aprofundado dos conteúdos abordados, entre eles a propagação retilínea da luz (Figura 1), as leis da reflexão, observando que o ângulo formado entre o raio incidente e a normal, como também a normal e o raio refletido são congruentes e as leis refração, observando que quando a luz passa de um meio para outro há um desvio em sua trajetória, fazendo com que algumas de suas características se modifique (Figura 2).

Figura 1: Propagação retilínea da luz



Fonte: acervo do próprio autor

Figura 2: Desvio da luz ao passar de um meio para outro

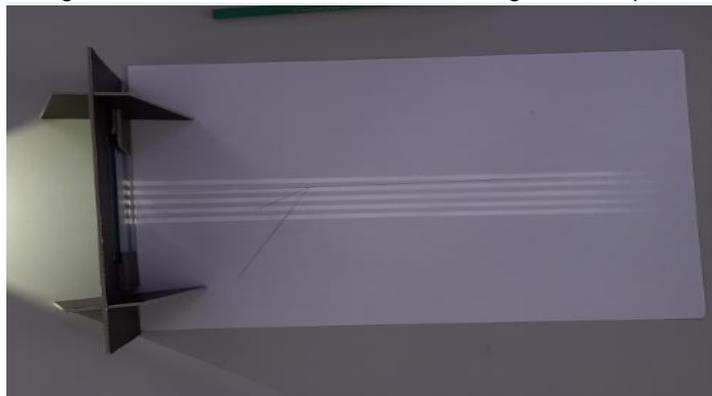


Fonte: acervo do próprio autor

4.3.1 Instruções de montagem dos experimentos

Coloque uma folha A4 plana (sem dobras) em cima de uma superfície plana (mesa) fixando com uma fita, depois monte o suporte para fendas encaixando como mostrado na figura abaixo e encoste na mesa a armação que parece uma trave de futebol.

Figura 3: Como colocar a folha e montagem do suporte



Fonte: acervo do próprio autor

Utiliza a placa plástica transparente com borda azul encaixando no meio do suporte, que servirá como uma lente, chamada “lente de Fresnel”. A fonte de luz utilizada produz luz branca, como a luz solar. É formado de um dispositivo com LED (diodo emissor de luz).

A fonte de luz deve ser montada a uma distância aproximada de 14 cm do suporte com a lente, que deve ser medida com uma régua, alinhado com o centro da lente. Essa distância é necessária para que a lente focalize a luz.

Para visualizar o experimento dos tipos de feixes de luz, colocamos no suporte a placa preta com várias fendas e a fonte de luz na distância marcada, com isso o

feixe de luz vai ficar paralelo, logo após aproximamos a fonte de luz do suporte e os raios de luz afasta-se (feixe divergente), e quando afastamos a fonte os raios de luz se aproximam (feixe convergente), como nas figuras abaixo.

Figura 4: feixe de luz paralelo

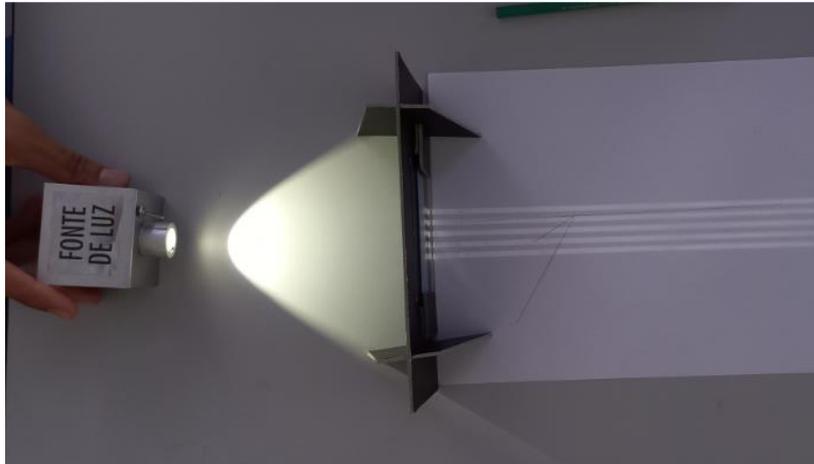
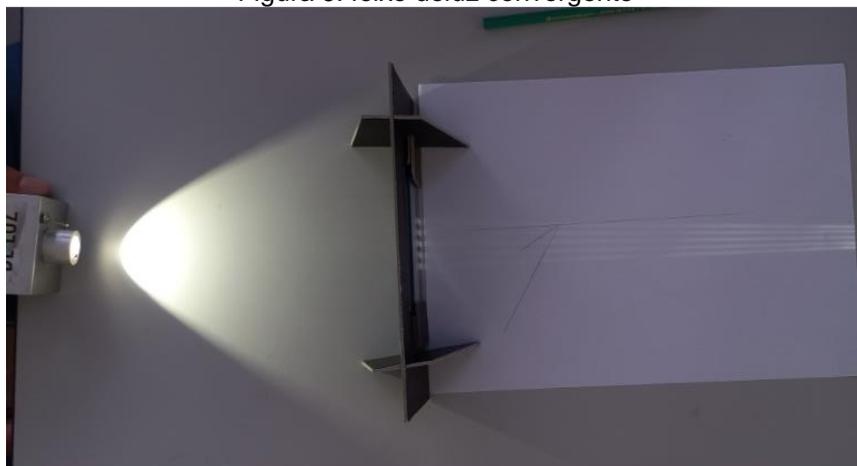


Figura 5: feixe de luz divergente



Figura 6: feixe de luz convergente

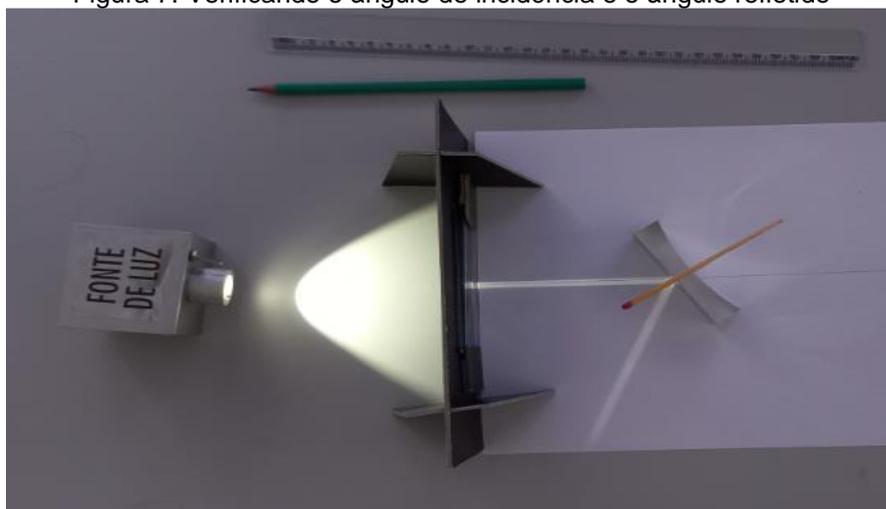


Fonte: acervo do próprio autor

Vamos realizar agora o experimento para comprovar as leis da reflexão em espelhos planos, colocamos no suporte a placa com uma fenda e a fonte de luz na distância marcadas, logo após colocamos o espelho plano mais convexo em frente ao

raio de luz de forma que fique perpendicular e sobre o espelho na mesma direção do raio de luz cola com fita um palito de dente. Em seguida rotaciona o espelho um pouco para o lado e observe de cima para fazer uma marcação no papel, essa marcação é agora a direção da normal a superfície do espelho. Agora vamos marcar os dois ângulos, de incidência θ_{inc} entre o raio incidente e a normal, e o ângulo de reflexão θ_{ref} entre o raio refletido e a normal e fazer a medição dos ângulos com um transferidor.

Figura 7: Verificando o ângulo de incidência e o ângulo refletido



Fonte: acervo do próprio autor

Já para o experimento da dispersão da luz, colocamos no suporte a placa com uma fenda e a fonte de luz na distância marcadas, logo após colocamos o prisma em frente ao raio de luz de forma que o raio e o lado do prisma fiquem perpendicular e em seguida vamos rodando lentamente até encontra a posição que o raio de luz branca é composta de todas as cores do espectro. Assim, o desvio angular no prisma separa as cores, conforme a figura abaixo.

4.4 Etapa 4 (duas aulas)

Objetivo:

Nessa etapa o objetivo é observar se os estudantes associaram os conceitos, os princípios e as leis ministradas nas aulas anteriores sobre conceitos básicos da óptica geométrica, seus princípios, leis da reflexão e da refração como também a dispersão da luz, através do lúdico pelo jogo trilha da Óptica Geométrica, um momento de descontração e muito engajamento dos estudantes.

Para essa atividade a sala foi dividida em cinco grupos de estudantes, cada grupo com quatro alunos, sendo que, o professor pode se organizar de acordo com sua disponibilidade, e tendo o professor como mediador.

As regras do jogo são:

1 – Para saber quem iniciará o jogo, o professor chama um componente de cada grupo para os mesmos jogarem uma vez o dado e o estudante que tirar o maior número iniciará o jogo e a sequência vai ser em ordem decrescente dos números tirado por cada um.

2 - O grupo que inicia a brincadeira jogará o dado e observa o número que vai parar, logo após escolhe uma carta do monte que está em cima da mesa e entrega para o mediador.

3 – O mediador vai ler a pergunta e estipular um tempo para que o grupo converse e responda, caso acerte a pergunta o grupo avança a quantidade de casas que saiu no dado, caso erre continuará no mesmo local.

4 - O tempo será marcado após a leitura da pergunta, sendo que dentro do tempo a pergunta pode ser lida quantas vezes for solicitada.

5 – Logo após é a vez do grupo que tirou o número inferior ao grupo que iniciou o jogo, e assim sucessivamente.

6 – O grupo vencedor é aquele que chegar primeiro no final da trilha ou caso termine o tempo estipulado pelo mediador e nenhum grupo tenha chegado no final, o vencedor é o grupo que está na casa mais próxima do final.

4.5 Etapa 5 (duas aulas)

Nessa etapa o objetivo é observar se os estudantes associaram os conceitos, os princípios e as leis ministradas nas aulas anteriores sobre conceitos básicos da óptica geométrica, seus princípios, leis da reflexão e da refração como também a dispersão da luz, através do lúdico pelo jogo Óptiquiz, jogo este inspirado em um jogo de Geografia que conheci através da professora Talya da Silva Pinheiro, que apresentou-me o site Classe Invertida que podemos acessar pelo link <https://classeinvertida.blogspot.com/?m=1>, um momento de descontração e muito engajamento dos estudantes.

Nessa atividade a sala foi dividida em quatro grupos, cada um com quatro estudantes, sendo que, o professor pode se organizado de acordo com sua disponibilidade.

Figura 8: cartas com as questões



Fonte: acervo do próprio autor

As regras do jogo são:

- 1 – O professor divide a sala em grupos de quatro ou cinco estudantes.
- 2 – Os estudantes sentam ao redor da mesa.
- 3 – Os estudantes podem realizar um sorteio ou escolhem entre eles quem começa o jogo.
- 4 – As cartas são baralhadas e empilhadas sobre a mesa com a fase voltada para baixo.
- 5 – O estudante que inicia o jogo pega uma carta de cima do monte e realiza a pergunta para seu colega que esta do seu lado direito, caso acerte a pergunta ele fica com a carta, mas se errar a pergunta a mesma retorna para o monte sob as cartas que estão empilhadas.
- 6 – O professor estipula o tem máximo que o estudante tem para responder à pergunta.
- 7 – O tempo será marcado após a leitura da pergunta, sendo que dentro do tempo a pergunta pode ser lida quantas vezes for solicitada.
- 8 – Em seguida é a vez do estudante que respondeu à pergunta tirar a próxima carta e realizar a pergunta nela registrada para o estudante que estar do seu lado direito, e assim por diante.

9 – O vencedor é o estudante que no final do jogo estiver com o número maior de cartas em suas mãos.

Figura 9: Organização do jogo, o estudante lendo a pergunta para o outro do lado direito.



Fonte: acervo do próprio autor

4.6 Etapa 6 (uma aula)

Por consequência, nesta etapa será realizado uma atividade como objetivo de realizar o monitoramento do ensino aprendizagem dos estudantes no decorrer das aulas e atividade anteriores, como também durante a aplicação do SD, para que o professor tenha uma sondagem de como foi a aplicação do PE.

5 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE

A avaliação do estudante será realizada durante todo o processo da aplicação da SD, observando a participação nas etapas sugeridas, tanto na participação nas aulas expositivas, em sua atenção, seus questionamentos em relação as suas duvidadas, como também durante a realização dos experimentos, na utilização dos materiais e manuseio para fazer o experimento acontecer.

O professor realizar uma análise tanto qualitativa como quantitativa, para uma reflexão em relação aplicação da SD. Em relação a avaliação qualitativa serão observados a participação, o engajamento, assiduidade e sua articulação para resolver situação problema. Já no que tange a avaliação quantitativa, utilizaremos os

instrumentos da trilha geométrica e da Óptiquiz Master, em relação ao acerto das perguntas realizadas durante os jogos.

Em seguida a avaliação será em observação as competências e habilidades contempladas na BNCC desenvolvidas pelos estudantes e outras, comparando as respostas do questionário aplicado na Etapa 1, com as respostas do questionário final aplicado na Etapa 6. Essa reflexão nos indicará alguns aspectos para análises em relação aos conceitos e no processo de ensino aprendizagem, bem como, se houve aprendizagem significativa.

APÊNDICES

Nessa sessão serão apresentados os apêndices utilizadas na SD.

APÊNDICE A – Questionário inicial

AVALIAÇÃO DIAGNOSTICA

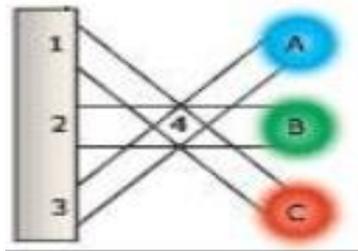
1 – Diga o que é luz?

2 – Diga como é a luz em outros meios (água, gás, espaço etc)?

3 – O que acontece quando um raio de luz atinge uma superfície que separa entre dois meios, por exemplo, água e ar?

4 - Uma pessoa coloca diante de um espelho plano uma placa onde está escrita a palavra ESCOLA, Como a pessoa vê a imagem desta palavra conjugada no espelho?

5 - (UEPB/2006) Durante o Maior São João do Mundo, realizado na cidade de Campina Grande, um estudante de Física, ao assistir a um show, decidiu observar o comportamento dos feixes de luz emitidos por três canhões, os quais emitiam luz nas seguintes cores: canhão **A- luz azul**; canhão **B- luz verde**; canhão **C- luz vermelha**, como mostra a figura abaixo.



Fonte: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=64554>

Considerando que os três feixes de luz têm a mesma intensidade e se cruzam na posição 4, as cores vistas pelo estudante nas regiões iluminadas 1, 2 e 3 do palco, e na posição 4, são, respectivamente:

6 – Dois raios de luz, que se propagam num meio homogêneo e transparente, se interceptam num certo ponto. A partir deste ponto, pode-se afirmar que continuam se propagando na mesma direção e sentido que antes.

- Certo
 Errado

Justifique:

7 – De acordo com seus conhecimentos, quando é que ocorre a reflexão?

8 - (PUC – SP - Adaptada) O ângulo de incidência, em um espelho plano, é de 30° . O valor do ângulo formado entre o raio refletido e a superfície é 75° ?

- Certo
 Errado

Justifique:

9 - (Unirio-RJ) Durante o final da Copa do Mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais gravou cena em um estúdio completamente escuro, onde existia uma bandeira da "Azzurra" (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarela monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu da mesma cor:

- Certo
 Errado

Justifique sua resposta:

10 – Você sabe o que é espelho convexo?

- sim
 Não

Justifique sua resposta:

APÊNDICE B – Questionário final – Pós-teste

EXERCÍCIO DE FÍSICA

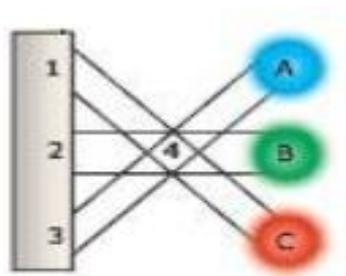
1 – De acordo com seu conhecimento, qual a definição de luz?

2 – A luz tem interação com o meio, de acordo com que a luz se propaga ou não com o mesmo, podemos classificar como?

3 – Quando um raio de luz atinge uma superfície entre dois meios, pode ocorrer alguns fenômenos que segundo a óptica geométrica podemos classificar com:

4 - Uma pessoa coloca diante de um espelho plano uma placa onde está escrita a palavra ALUNO, Como a pessoa vê a imagem desta palavra conjugada no espelho?

5 - (UEPB/2006) Durante o Maior São João do Mundo, realizado na cidade de Campina Grande, um estudante de Física, ao assistir a um show, decidiu observar o comportamento dos feixes de luz emitidos por três canhões, os quais emitiam luz nas seguintes cores: canhão A- **luz azul**; canhão B- **luz verde**; canhão C- **luz vermelha**, como mostra a figura abaixo.



Fonte: <https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=64554>

Considerando que os três feixes de luz têm a mesma intensidade e se cruzam na posição 4, as cores vistas pelo estudante nas regiões iluminadas 1, 2 e 3 do palco, e na posição 4, são, respectivamente:

6 – Dois raios de luz, que se propagam num meio homogêneo e transparente, se interceptam num certo ponto. A partir deste ponto, pode-se afirmar que continuam se propagando na mesma direção e sentido que antes.

() Sim

() Não

Justifique:

7 – (UFB) A propriedade óptica que afirma que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão é válida somente para os espelhos planos?

() Sim

() Não

Justifique:

8 - (PUC – SP - Adaptada) O ângulo de incidência, em um espelho plano, é de 30° . O valor do ângulo formado entre o raio refletido e a superfície do espelho é 75° ?

- () Certo
() Errado

Justifique:

9 - (Unirio-RJ) Durante o final da Copa do Mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais gravou cena em um estúdio completamente escuro, onde existia uma bandeira da “Azzurra” (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarela monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu da mesma cor?

- () Sim
() Não

Justifique sua resposta:

10 – Quando é que podemos classificar um espelho como convexo?

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC/SEB, 2018. Disponível em: basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acessada em: 27/03/2024.

JOGOS didáticos para imprimir, recortar e montar. **Classe Investida**, 2018. Disponível em: <<https://classeinvertida.blogspot.com/2018/09/jogos-didaticos-geoquest-18-fontes-de.html>>. Acesso em: 25/10/2023.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2012).

NUSSENZVEIG, H. M.; BAGNATO, V. S. **Óptica geométrica: aventuras com raios de luz**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Programa da Pró-Reitoria de Graduação, Instituto de Física de São Carlos, Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica, 2012. (kit Aventuras na Ciência)

SOARES, M. H. F. B. **O lúdico em Química: jogos e atividades aplicados ao ensino de Química**. 2004. 219 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

YAMAZAKI, S. C.; YAMAZAKI, R. M. O. **Jogos para o ensino de física, química e biologia: elaboração e utilização espontânea ou método teoricamente fundamentado?** **R.B.E.C.T.**, v. 7, n.1, 2014. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/viewFile/1310/1225>. Acesso em: 12 maio 2021.