

Resumo

Neste documento será possível visualizar algumas Sugestões Para a Aula (SPA), com base no simulador curvando a luz, num primeiro momento será exposto uma parte introdutória para que o educador possa se 'inteirar' de como utilizar o simulador, uma espécie de tutorial, num segundo momento apresentamos sugestões para serem trabalhadas com os estudantes em diferentes momentos da aula.

Simulador

Curvando a luz

Endereço eletrônico

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/bending-light

Observações para o professor

Assuntos que poderão ser explorados

1. Lei de Snell
2. Luz
3. Refração
4. Reflexão

Por que utilizar este simulador?

O simulador permite conceituar diretamente a partir de fenômenos visuais tanto a reflexão quanto a refração. Habilita a troca de meios, a variação de ângulos de incidência e a extração de 'dados experimentais' como a intensidade refletida e refratada e ângulos de incidência, de reflexão e de refração. A interatividade é estimulada por ser de fácil manipulação, tanto por parte do educador quanto do educando.

Apresentação/descrição do simulador

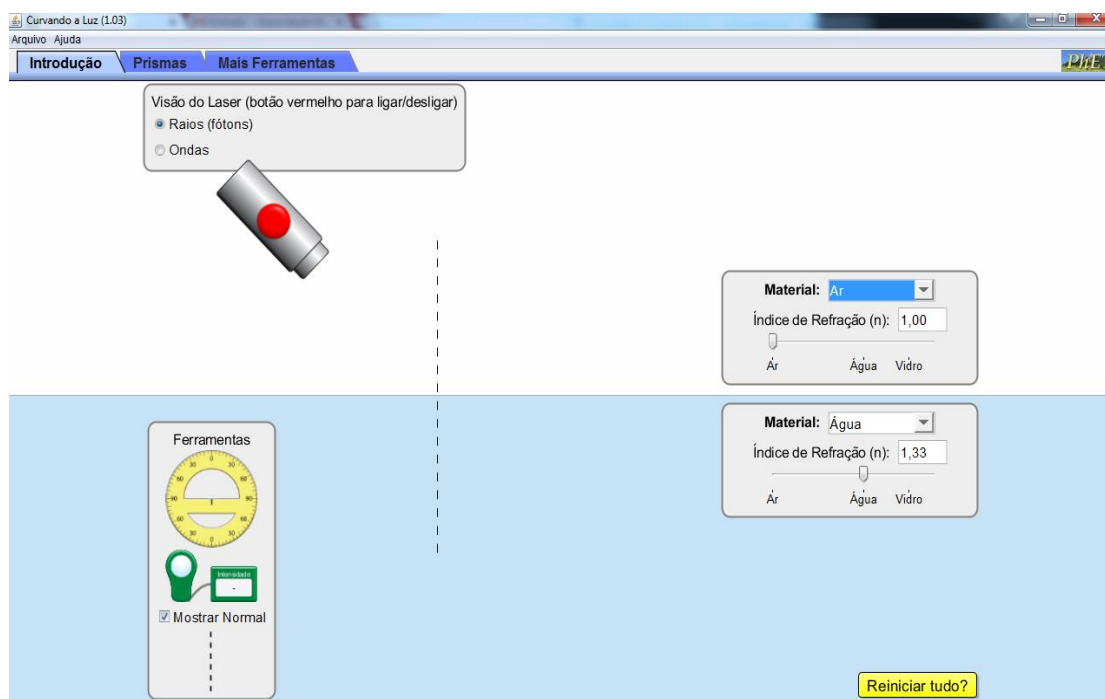


Figura 1 – Tela inicial do simulador, na aba introdução.

A Figura 1 acima mostra a tela inicial do simulador. Nela vemos a presença de três abas, situadas na parte superior esquerda da tela principal, a saber: *Introdução*, *Prismas* e *Mais Ferramentas*. A função de cada aba será descrita no que segue.

Inicialmente iremos descrever a aba da *introdução*, ao lado esquerdo da tela pode-se notar a presença de uma caixa cinza (figura 2) na parte superior, do laser (figura 3) na parte central e de uma caixa de ferramentas na parte inferior (figura 4). A caixa cinza possibilita alternar entre as visualizações do laser, tipo raios ou tipo ondas; o tipo raios é recomendado para aulas de ótica geométrica enquanto o tipo ondas pode ser usado para mostrar a propagação das frentes das ondas eletromagnéticas em um feixe luminoso.

O laser é ligado ou desligado basta clicar no botão vermelho. Além disso, ao clicar sobre o laser nas proximidades do botão vermelho e arrastar, no sentido indicado por setas verdes mostradas (figura 5) enquanto o mouse passar sobre o corpo do laser, pode-se alterar o ângulo de incidência desde 0° até 90° .

A caixa logo abaixo do laser, com nome Ferramentas (figura 4), possui um transferidor, um medidor de intensidade dos feixes refletido e refratado em relação à intensidade incidente e, por fim, apresenta a possibilidade de mostrar ou não a reta normal. Exceto a reta normal, que é ativada e desativada por clicar no quadradinho branco ao lado da frase *Mostrar Normal* (*Mostrar Normal*), os outros dois instrumentos devem ser levados à posição desejada da tela do simulador por meio de clique e arraste sobre o corpo do instrumento.

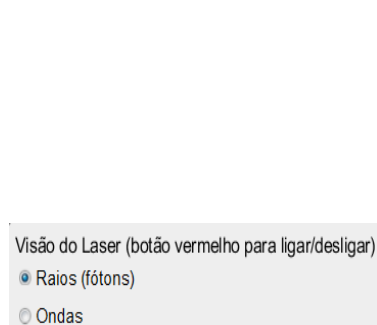


Figura 2: Visão do laser



Figura 3: Laser

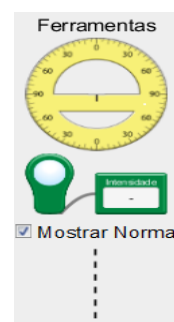


Figura 4: caixa de ferramentas

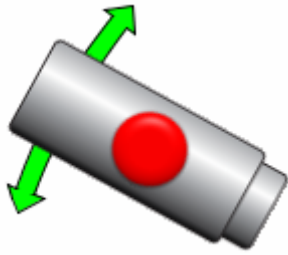




Figura 5: setas do laser.

Ao observarmos o lado direito da tela ainda na aba *Introdução* pode-se notar a presença de duas caixas de opções, sendo que cada uma representa um meio de propagação da luz. Apenas como critério de identificação, estes serão chamados de meio 1 - aquele em que o laser está inserido - e meio 2 - aquele para onde a luz do laser se dirige., chamaremos de meio 1 e meio 2 (figura 6), é possível alternar entre os meios de três formas: através da seta para baixo () situada logo ao lado direito da identificação do *Material* sendo possível escolher: ar, água, vidro, mistério A, mistério B, personalizado; inserção direta do índice de refração desejado no campo *Índice de Refração (n)* () , ou através de um clique e arraste do cursor  localizado logo abaixo do campo *Índice de Refração (n)*; As duas caixas de alternância de meios funcionam da mesma maneira, sendo possível até tornar os meios idênticos e mostrar que, neste caso particular não há refração da trajetória do raio luminoso.

Ainda na aba *Introdução*, na parte inferior direita da tela vê-se um quadrinho amarelo com a pergunta: *Reiniciar tudo?* (). Ao clicar nesta caixinha o programa anula todas as modificações inseridas durante a simulação e retorna às configurações iniciais após resposta afirmativa à pergunta feita ao usuário: *Reiniciar todas as configurações?*.

Por fim, cabe observar que ao ser escolhida a opção *Ondas* na caixa superior esquerda *Visão do laser*, insere-se na tela da simulação, na parte inferior central, a possibilidade de fazer as frentes de onda andarem lenta ou rapidamente, através de clique e arraste de uma barrinha entre os limites *lento* e *rápido* abaixo da indicação *velocidade da simulação* (figura 7), a possibilidade de pará-las através do botão play/pause, e a possibilidade de avanço quadro a quadro da simulação por meio de cliques sobre o botão ao lado direito do play/pause (figura 8). Neste formato de visualização do laser, o de *Ondas*, pode haver uma pequena falha no simulador: quando a refração ocorre na mudança do meio 1 para o meio 2 a fase da onda poderá estar alterada. Caso isso ocorra basta reiniciar o simulador e o erro é eliminado.

Ainda é possível ver em amarelo a caixa reiniciar tudo? (**Reiniciar tudo?**) permite reiniciar todas as configurações.

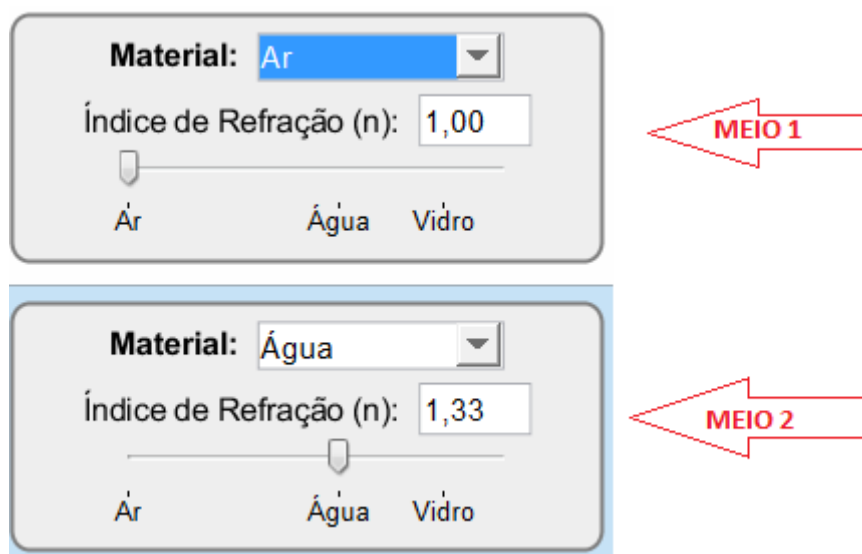


Figura 6: Meios de propagação da luz.

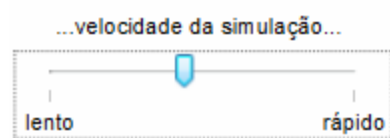


Figura 7: cursor de velocidade da simulação.



Figura 8: botão play, pause, avanço quadro a quadro.

A aba *Prismas* (**Prismas**) tem o formato inicial conforme apresentado na Figura 9 abaixo,

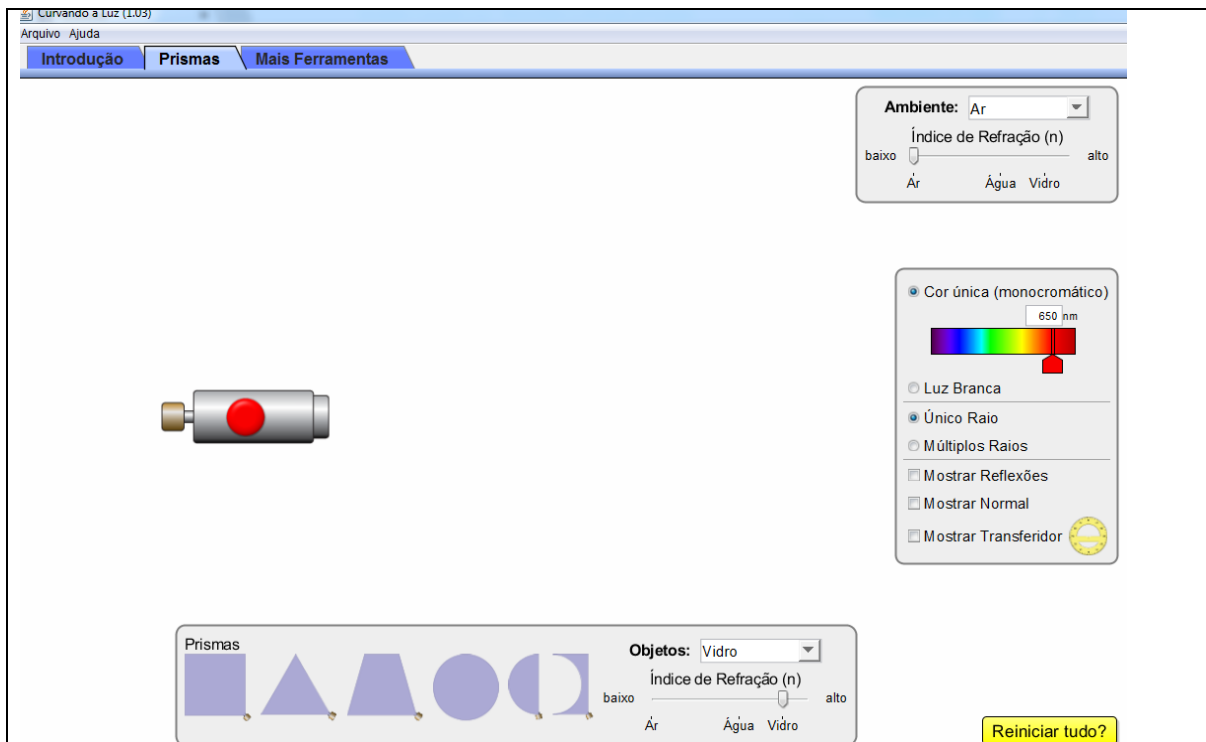


Figura 9: Tela inicial da aba *Prismas* do simulador *Curvando a Luz*.

Ao lado esquerdo desta tela percebe-se a presença do laser. Enquanto nesta aba, o laser poderá ser transportado para qualquer posição da tela do simulador e, além deste movimento de transporte do equipamento, pode-se girá-lo de 360° em torno de um ponto logo à frente do laser. A rotação se dá ao clicar e arrastar a pequena alavanca beje localizada na parte de trás do instrumento enquanto que o transporte se dá ao clicar sobre o corpo do laser e arrastá-lo para o local desejado da tela do simulador.

Logo abaixo do laser estão dispostos alguns objetos com formas diferentes que podem ser utilizados nesta parte do simulador. A mesma caixa (figura 10) que disponibiliza os objetos oferece a possibilidade de alterar o material que compõe este. Tal alternância entre materiais pode ser feita por meio da seleção entre aqueles disponibilizados no simulador (Ar, Água, Vidro, Mistério A e Mistério B), visualizados quando de um clique sobre a seta para baixo no campo *Objetos*: ou então por meio da personalização do índice de refração por meio do cursor logo abaixo da frase *Índice de Refração (n)*. Já os diferentes objetos podem ser levados à simulação por clicar sobre eles e arrastá-los até o ponto desejado, soltando-o então. O objeto estando na posição desejada poderá ser girado livremente com posição fixa ao clicar e arrastar a pequena alavanca presa a um de seus vértices. Mais de um objeto do mesmo tipo pode ser utilizado nas simulações, sempre repetindo o processo de clique e arraste para a posição desejada.



Figura 10: Caixa de diferentes prismas, controles de mudanças de objetos e índices de refração.

Na caixa disponível no lado superior direito é possível fazer a mudança de ambiente, novamente sendo possível trocar para: Ar, Água, Vidro, Mistério A, Mistério B e Personalizado. O funcionamento desta caixa é análogo ao que trata dos objetos de trabalho, descrito anteriormente.

Já na parte central direita da tela, ainda na aba *Prismas*, há a possibilidade de escolher se o laser é monocromático ou branco, bastando clicar sobre a opção desejada para selecioná-la. No caso monocromático, pode-se escolher a cor do laser de duas formas: clicando e arrastando o cursor até a cor desejada ou escolhendo o comprimento de onda diretamente acima do mesmo cursor para que ele se desloque automaticamente para um comprimento de onda específico na região visível (entre 380 nm e 700 nm). Há, ainda nesta caixa (figura 11), a possibilidade de escolher um ou múltiplos raios saindo do laser, de mostrar ou ocultar os raios refletidos em cada interface entre meios encontrada na trajetória do feixe luminoso, de mostrar ou ocultar a reta normal à cada interface no ponto de incidência do feixe luminoso e, por fim, de mostrar ou ocultar um transferidor para aferição de ângulos diversos entre raios na simulação.

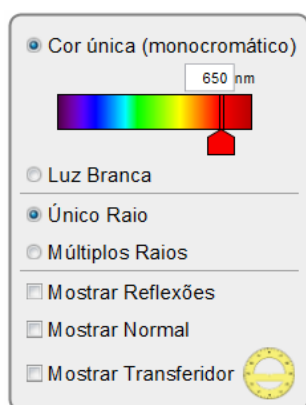


Figura 11: ferramentas na aba *Prismas* do simulador *Curvando Luz*.

Novamente em amarelo a caixinha amarela na parte inferior direita do simulador com a pergunta *Reiniciar tudo?* permite reiniciar todas as configurações do simulador.

A terceira aba, de nome *Mais Ferramentas*, possui a aparência inicial mostrada na Figura 3, abaixo.

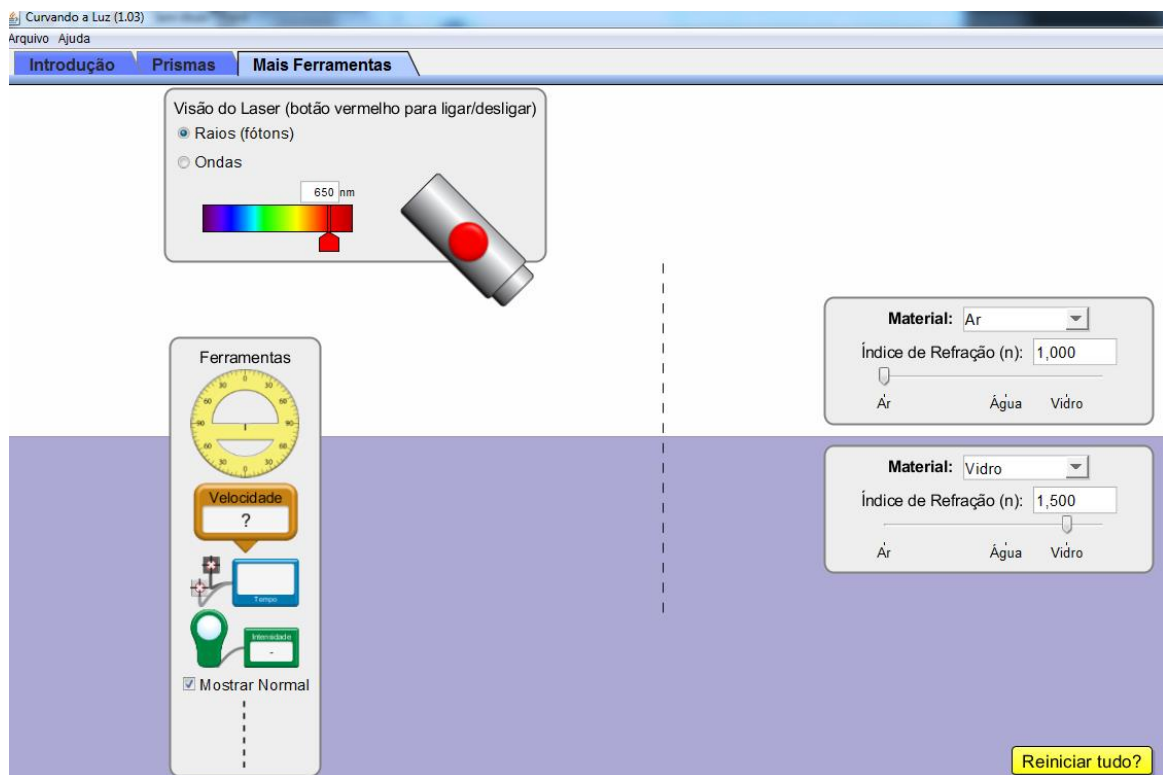


Figura 12: Tela inicial do simulador sob a aba *Mais Ferramentas*.

Pode-se notar, comparando com a Figura 1, que se trata do mesmo ambiente de simulação que a aba *Introdução* acrescido de algumas ferramentas a mais.

Nesta aba, na caixa superior esquerda intitulada *Visão do Laser*, além de ser possível alternar entre *Raios (fótons)* e *Ondas*, conforme acontecia na aba *Introdução*, há a possibilidade de escolher a cor do laser pela movimentação do cursor correspondente até a cor desejada ou então pela digitação direta de um comprimento de onda na região visível na caixa correspondente ao cursor (entre 400 nm e 700 nm).

Além dessa diferença com a aba *Introdução* pode-se notar que existem ferramentas adicionais na caixa *Ferramentas*, na parte esquerda da tela. Nota-se a presença de um velocímetro para a luz e de um indicador de intensidade da onda luminosa em um dado ponto da trajetória desta por meio da construção de um gráfico amplitude contra o tempo.

O restante desta aba funciona conforme a aba *Introdução*.

Sugestões de utilização do simulador diferentes momentos da aula

- **Quando utilizado para iniciar o conteúdo novo**

Pode-se explorar as concepções iniciais dos estudantes utilizando a aba introdução, disponível no simulador. Com isso a função do simulador na aula seria a de gerar uma problematização do conteúdo a ser trabalhado.

As primeiras falas sobre o conteúdo, muitas vezes ainda abstrato no pensamento do aluno, poderá apenas mostrar o simulador e suas ferramentas com o auxílio de um data show. No entanto recomenda-se que o estudante manipule o simulador para ir se apropriando da ferramenta didática.

Assim, quando usado na introdução do conteúdo, o simulador auxilia na investigação/exploração dos conhecimentos preexistentes nos alunos sobre o assunto e na promoção de um diálogo/debate com a turma, cada um defendendo seu ponto de vista. Indiretamente favorecerá a elaboração de ideias e a construção e verificação de hipóteses, o que, por si só, terá como possível resultado a evolução da maneira de pensar e o abandono de ideias equivocadas, consolidando um novo aprendizado.

- **Quando utilizado na organização do conhecimento:**

O simulador poderá servir como um elo para minimizar a distância entre a teoria e a prática, servindo para ligar o conteúdo muitas vezes abstrato com situações vivenciadas no seu dia a dia.

Pode servir também com o propósito de exemplificar o conteúdo de maneira ilustrativa e relacionar a teoria com as ferramentas matemáticas.

Ainda outra sugestão para uso do simulador neste momento da aula é a realização/desenvolvimento de algum tipo de exercício que permita ao estudante explorar a parte do conteúdo com a qual este já teve contato. Logo abaixo, neste documento, são apresentados algumas sugestões de exercícios.

- **Quando usado na avaliação do conhecimento**

Nesta etapa da abordagem do conteúdo, sugere-se o uso do simulador para revisar, de forma sistematizada, os assuntos tratados teoricamente ou então, usá-lo como ferramenta alternativa na avaliação do processo ensino-aprendizagem.

Potencialidades do simulador	<ul style="list-style-type: none">- Fácil manipulação para o estudante e professor;- Possui ferramentas que permitem uma interdisciplinaridade com a matemática, por exemplo, com o uso do transferidor, ou ainda dentro da própria física com assuntos diferentes da ótica geométrica, como a conservação de energia quando parte da onda é transmitida e parte é refletida em uma interface.
-------------------------------------	---

Limitações do simulador	<p>- Permite índices de refração somente até 1,60. O que dificulta a obtenção de múltiplas reflexões internas em um objeto da aba <i>Prismas</i>. Reflexões internas facilitariam a explicação de fenômenos como o brilho do diamante e a formação de arco-íris.</p> <p>- Na aba <i>Introdução</i>, caso exista uma troca da fase da parte da onda luminosa que é refratada então o simulador deverá ser reiniciado para corrigir este erro. Esse cuidado deve ser tomado quando da exploração do assunto <i>fase das partes refletida e refratada de uma onda</i>. O mesmo pode acontecer na aba <i>Mais Ferramentas</i>.</p>
Observações adicionais	<p>Mesmo que o simulador possibilite a exploração de conceitos simultâneos, seria interessante não trabalhar mais de um conceito com o mesmo simulador. Essa prática poderá evitar que ocorra confusões no aprendizado do estudante.</p>
Sugestões de atividades para os estudantes	
Questões para um primeiro contato com o simulador, poderá utilizar a aba <i>Introdução</i>.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vocês conhecem um laser? Como a luz do laser se propaga na sala de aula - em linha reta ou pode fazer curvas? Poderá levar um laser ou utilizar o simulador, deixando os dois meios idênticos para evitar refração em um primeiro contato dos alunos com o assunto. ➤ A luz será desviada se os dois meios forem idênticos? ➤ O que ocorre com a luz do laser se ligarmos e colocarmos em direção a um recipiente com água? Será desviada? Por que isso ocorre? (Poderá mostrar utilizando um material diferente). ➤ O que acontece se mudarmos os meios? (meio 1 diferente do meio 2). ➤ O que ocorre com o feixe de luz em relação a normal? Após passar de um para outro meio, ele irá se aproximar ou se afastar desta reta? (Caso já tenha sido definido o que é a reta normal.)
Questões teóricas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Por que o diamante parece brilhar tanto?

Devido ao pequeno valor do ângulo limite do diamante (perto dos 24° , enquanto que no vidro fica perto dos 42° , para comparação), grande parte da luz que entra nele, ao tentar voltar para o ar através de ângulos de incidência maiores que o ângulo limite, sofre reflexões sucessivas em suas faces, provocando o efeito brilhante. Assim o diamante consegue “aprisionar” a luz em seu interior fazendo-a sofrer inúmeras reflexões totais e muito pouca refração para o meio exterior.¹

- Como podemos explicar o efeito das miragens no deserto?

Devido à variação da densidade do ar com a temperatura temos a ilusão, em dias quentes e secos, de poças de água, imagens de carros, de nuvens, de miragens em desertos, pois o Sol em contato com o solo deixa o ar mais quente e conseqüentemente menos refringente que o ar das camadas superiores. Uma vez que o índice de refração varia aproximadamente de modo diretamente proporcional com a densidade do ar, isso faz com que os raios de luz sofram reflexão total em camadas próximas ao solo, subam e atinjam os olhos de um observador, que terá a impressão de que no solo existe um espelho fornecendo a imagem de um objeto. O fenômeno também pode acontecer, embora menos frequentemente, nos mares.²

Questões com ferramentas matemáticas

- ❖ Um raio de luz monocromática i propagando-se inicialmente no vidro (meio 1) incide na água (meio 2) como mostra a imagem 4, com $\theta_v = 30^\circ$. Sabendo-se que os índices de refração do vidro e da água (para essa luz) são $n_v = 1,50$ e $n_a = 1,33$, respectivamente, determine o ângulo formado entre a normal e o raio refratado.³

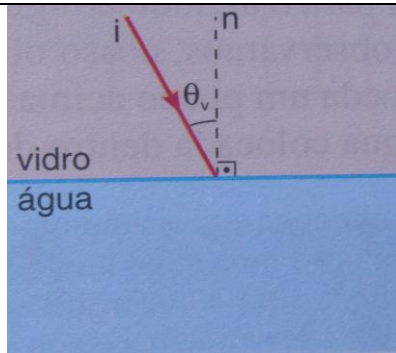


Figura 13 – Ângulo incidente.

Resolução: como o índice de refração do vidro é maior do que o da água, ao passar do vidro para a água, o raio se afasta da normal. Pela segunda Lei da Refração (Lei de Snell-Descartes), temos:

$$n_v \cdot \text{sen } \theta_v = n_a \cdot \text{sen } \theta_a$$

$$(1,50) \cdot \text{sen}30^\circ = (1,33) \cdot \text{sen } \theta_a$$

$\text{sen } \theta_a = 0,564$ aproximadamente; logo $\theta_a = \text{arc sen } 0,564$; então, teoricamente, temos $\theta_a = 34,32^\circ$. No simulador é só lançar os dados do problema e obter o resultado conforme a imagem abaixo.

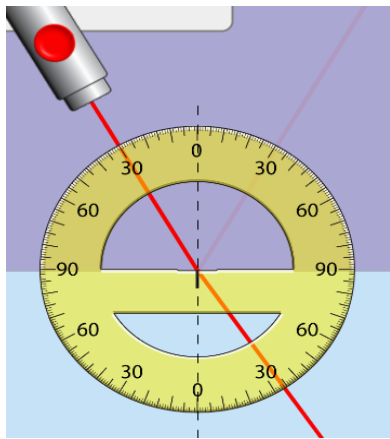
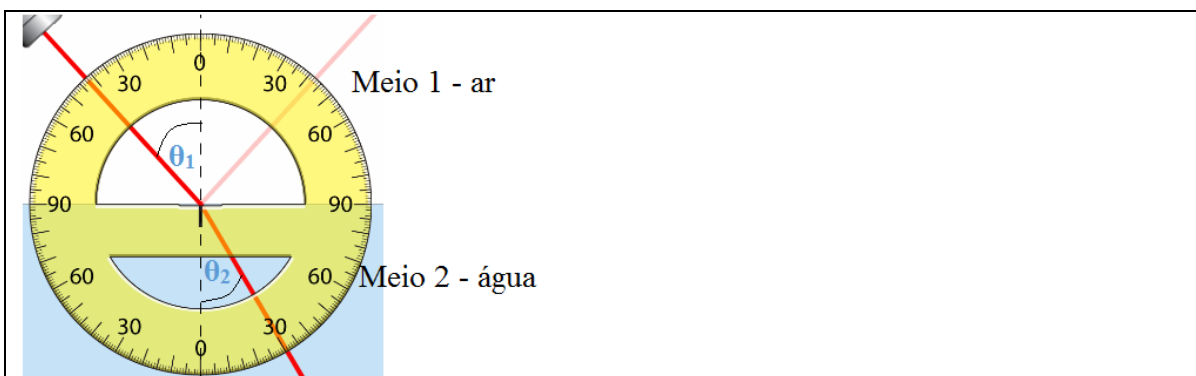


Figura 14 – Ângulo de refração entre o meio 1 e o meio 2, conforme o problema.

Importante destacar que não é possível tanta precisão na medida do resultado com o simulador. Mesmo assim é possível visualizar com mais clareza o efeito da refração e a validade da Lei de Snell do que somente com o resultado teórico. Sugerimos o uso das ferramentas matemática e interativa (simulador) em conjunto.

- ❖ Na aba introdução pressione o botão vermelho do laser, escolha a opção mostrar normal, posicione o transferidor alinhado com a reta normal, os dados coletados poderão ser transcritos em um quadro conforme o exemplo abaixo,



- a) Manipule o laser observe e anote variações dos ângulos de incidência θ_1 , e dos ângulos de refração θ_2 , escolha o meio 1 o ar e como meio 2 a água.

Quadro 1: Exemplo de dados coletados com o simulador.

Interface Ar-Água (laser vai do ar para água)		
Ang. Inc. (θ_1)	Ang. Ref. (θ_2)	$\text{sen}(\theta_1)/\text{sen}(\theta_2)$
5	4	1,25
10	8	1,25
15	12	1,24
20	15	1,32
25	19	1,30
30	23	1,28
35	26	1,31
40	29	1,33
45	32	1,33
50	36	1,30

- b) Discuta com os colegas e descreva sobre os valores encontrados no quadro 1, que conclusões você pode chegar.
- c) Observe a razão entre $\text{sen}(\theta_1)/\text{sen}(\theta_2)$, observe o índice de refração de alguns materiais disponíveis no simulador, compare com qual valor é mais próximo. Podemos dizer que o índice de refração é a razão entre $\text{sen}(\theta_1)/\text{sen}(\theta_2)$. Por que?
- d) O índice de refração depende do que?
- 3 - Utilize como meio 1 a água, e como meio 2 o ar, colete os dados para o ângulo incidente θ_1 e para o ângulo refratado θ_2 , (Observe e anote até qual ângulo incidente ocorre refração).

Quadro 2: exemplo de dados que foram coletados com o simulador.

Interface Água - Ar (laser vai da água para o ar)		
Ang. Inc. (θ_1)	Ang. Ref. (θ_2)	$\text{sen}(\theta_1)/\text{sen}(\theta_2)$
5	8	0,63

10	14	0,72
15	21	0,72
20	28	0,73
25	34	0,76
30	42	0,75
35	51	0,74
40	60	0,74
45	72	0,74
48	82	0,75
50	Ref. Int. Total	

- Analise e discuta com a turma sobre os dados que foram coletados.
- Observe a razão entre $\text{sen}(\theta_1)/\text{sen}(\theta_2)$, visualize no simulador o índice de refração de alguns materiais, compare com qual valor é mais próximo. Podemos dizer que o índice de refração é a razão entre $\text{sen}(\theta_1)/\text{sen}(\theta_2)$. Por que?
- Observe que o índice de refração do ar não é a razão entre $\text{sen}(\theta_1)/\text{sen}(\theta_2)$, discuta sobre isso, observe o índice de refração do ar no simulador. O índice de refração depende do que?

❖ Descubra o índice de refração do mistério A, utilizando a Lei de Snell ($n_1 \cdot \text{Sen}\theta_1 = n_2 \cdot \text{Sen}\theta_2$). Utilize o meio 1 como sendo o ar, depois faça com a água e o vidro:

Quadro 3: dados coletados com o simulador.

Meio 1	θ_1	θ_2	n_2
Ar	30	12	2,40
Água	30	16	2,41
Vidro	30	18	2,43
Valor médio ----- →			2,41

- Discuta por que os valores de $n_2 =$ mistério A, podem ter valores diferentes:
- Pesquise de qual material se aproxima o índice de refração encontrado:
- Encontre a velocidade da luz neste meio, lembrando que $n = c/v$, logo, $v = c/n$.
- Identifique o índice de refração do mistério B, utilize a tabela a seguir para transcrever os dados retirados, pesquise e identifique o material do mistério B.

Quadro 4: coleta de dados a partir do simulador.

Meio 1	θ_1	θ_2	$n_2 = ?$
Ar			
Água			

Vidro			
Valor médio ----- →			

Questões para um possível debate (aula dialogada)

- Por que as estrelas parecem “piscar” no céu? ¹

As estrelas que observamos no céu parecem “piscar” ou “cintilar” devido a existência de correntes móveis de ar quente e frio na atmosfera. Essa turbulência atmosférica altera a direção do raio de luz proveniente da estrela, uma vez que o índice de refração depende da densidade do ar e da temperatura. Temos, então, a impressão de que a estrela está alternando sua posição porque a luz sofre desvios aleatórios em sua trajetória até nossos olhos.

- [Anotar as ideias iniciais no quadro], ocorre refração na questão anterior, há refração da luz durante a trajetória da estrela até nossos olhos ou não? Por que pensam assim?

É possível mostrar a refração da luz através do simulador assim como medir a intensidade luminosa do raio incidente e do raio refratado.

Questões que relacionam com situações do dia a dia do estudante

[Poderá ser demonstrado ou realizado a manipulação do simulador por parte dos estudantes sobre a reflexão total em seguida incentivar a pesquisa em diversas fontes sobre a reflexão total no seu cotidiano. Para trabalhar a reflexão total sugere trabalhar sobre o ângulo crítico]

- Escreva um pequeno texto sobre a importância da reflexão total no dia a dia.

Fibras ópticas – Usadas como meio de transmissão de ondas eletromagnéticas (como a luz). Feitas de plástico ou de vidro e tem diâmetros variáveis (desde de mais finos que um fio de cabelo até vários milímetros). Comparando-os aos cabos metálicos de cobre, as fibras ópticas tem a vantagem de serem imunes às interferências eletromagnéticas, além de não serem afetados com problemas decorrentes da eletricidade.

A fibra ótica pode ser subdividida em duas camadas concêntricas, uma interna à outra. Àquela camada central dá-se o nome de núcleo e à camada próxima a superfície da fibra dá-se o nome de casca. A luz se propaga no interior do núcleo da fibra ótica num caminho totalmente espelhado devido ao fenômeno da reflexão interna total que ocorrerá no interior das paredes do núcleo desde que o índice de refração do núcleo (n_n) seja maior que o índice de refração da casca da fibra (n_c) e que o ângulo de incidência em relação à normal ao incidir na casca seja maior que o ângulo limite L .

As fibras ópticas são utilizadas em comunicações (rede telefônica, televisão por cabo, distribuição de energia elétrica), em medicina (sistemas de monitoração interna do corpo

humano e instrumentação cirúrgica), etc. Não importa a distância, levam a informação quase instantaneamente, ou seja, à velocidade próxima à da luz.²

**Questão para o estudante tentar identificar alguma limitação do simulador
(desenvolver o pensamento crítico)**

- É possível saber a que distância os raios refletido e refratado irão estar da reta normal após terem se afastado a distância d da superfície de interface entre eles?

O estudante poderá se perguntar como fazer isso. Ao verificar que poderá utilizar o transferidor para medir os ângulos, porém não poderão estimar a distância para usar Pitágoras, ou uma relação trigonométrica. Neste momento que poderão ser discutidas as limitações do simulador e enfatizar que embora sirva para relacionar os saberes teóricos com os saberes práticos, devemos utiliza-lo com cautela.

Questões para identificar se o estudante “gostou” de trabalhar com o simulador

- 1 – Em que momento da aula você aprendeu mais? Por que?
- 2 – O uso do simulador contribuiu para o seu aprendizado? Como?
- 3 – O simulador ajudou na resolução das questões propostas?
- 4 – Escreva um pequeno parágrafo reflexivo com as expressões “que bom”, “que tal”, “que pena”?
- 5 – Você gostaria de mais aulas com o uso de simuladores? Por que?

REFERÊNCIAS

¹ SANT’ ANNA, Blaidi; et al. Refração da luz. In____. **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2010. V. 2, capítulo 14, p. 268 – 286.

² Reflexão total. Disponível em: <<http://fisicaevestibular.com.br/optica8.htm>>, acesso em 15 de fev. 2015.

³ SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sergio. **Física**. São Paulo: Atual, 2005.

Delizoicov, DEMÉTRIO; ANGOTTI, José André Peres. **Física**. 2ª ed. revista. São Paulo: Coretz, 1992.