

**Observação:** O presente texto é destinado a profissionais que necessitam somente das informações básicas relativas a alguns conceitos da óptica física que se aplicam à área de óptica oftálmica, por isso não existem grandes desenvolvimentos matemáticos ou outra forma de aprofundamento teórico.

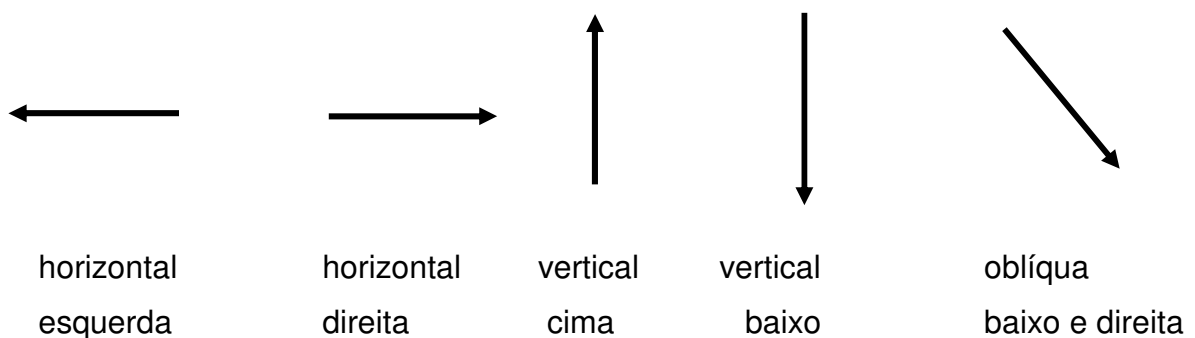
## ÍNDICE DE REFRAÇÃO

A luz é reconhecida como uma onda, mais particularmente, uma onda transversal em função dos fenômenos observados que são a *Polarização* e a *Interferência*. Além destes existem outros fenômenos próprios da natureza ondulatória da luz que são a *Refração* e a *Difração*.

A *refração* é a mudança de velocidade que a luz sofre durante a transição entre dois meios transparentes, isto é, ao passar de um meio transparente para outro como, por exemplo, do ar para a água. Caso a incidência da luz não seja perpendicular verificaremos também um desvio de direção de propagação.

Como estamos entendendo a luz como uma onda se propagando pelo espaço, muitas vezes ao invés de representar uma onda, adotamos um segmento de reta orientado, denominado *raio de luz*, para representar a direção e o sentido de propagação da luz.

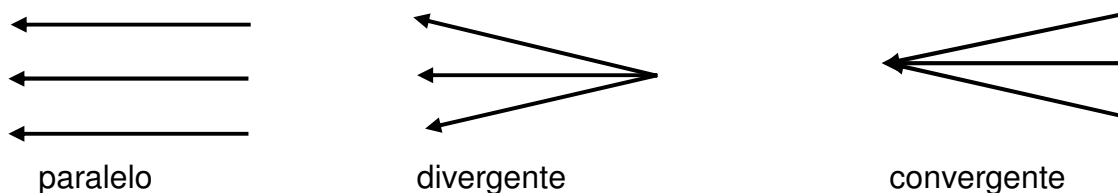
FIGURA – Raio de luz – a seta indica o *sentido* (para cima, para baixo, para direita, para esquerda) e a reta a *direção* (horizontal, vertical, oblíqua).



Quando desejemos representar diversas ondas de luz se propagando utilizamos diversos

raios de luz que denominamos como *feixe de luz* ou *pincel de luz*, temos então um conjunto de setas (seguimentos de reta orientados) que podem ser *paralelas*, *convergentes* ou *divergentes*.

FIGURA – Feixes ou Pinceis de Luz.



No *vácuo* a luz tem uma velocidade aproximada de 300.000 quilômetros por segundo, sendo a mesma velocidade para todas as cores do espectro visível.

Chamamos de Índice de Refração Absoluto, ou na linguagem comum do ramo óptico, simplesmente como *Índice de Refração*, a relação entre a velocidade da luz no vácuo, representada pela letra “c”, e a velocidade da luz no meio mais denso, representada por “ $v_{\text{meio}}$ ”, e é indicado pela letra “n”.

$$n = \frac{c}{v_{\text{meio}}}$$

Se, por exemplo, uma onda luminosa se propaga do vácuo (300.000 quilômetros por segundo) para um material onde sua velocidade passa para 200.000 quilômetros por segundo então  $n = 1,5$ . O índice de refração é um número adimensional, ou seja, não está associado a qualquer unidade de medida.

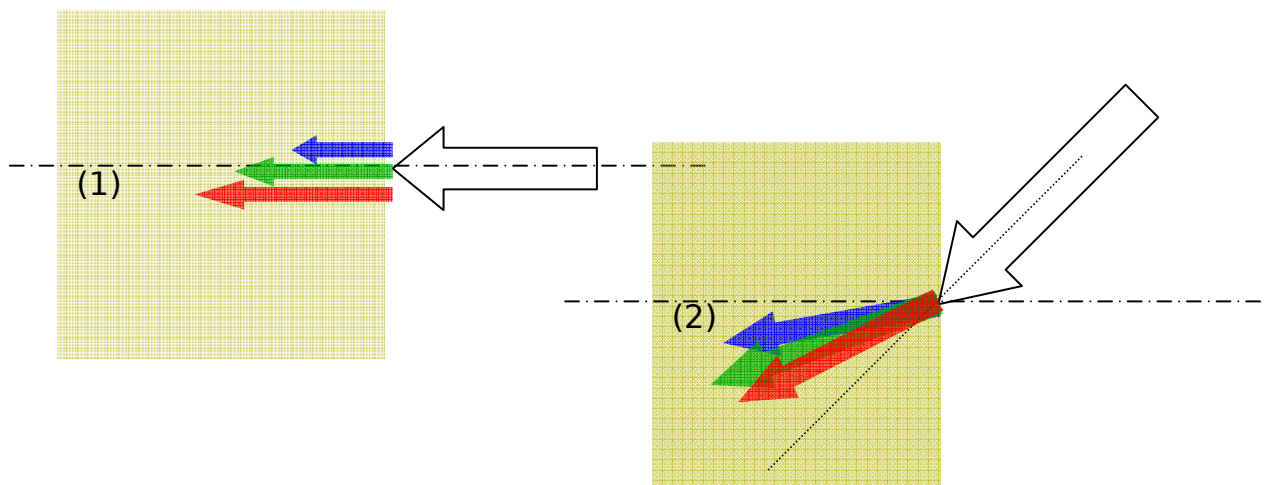
## ABERRAÇÃO CROMÁTICA

UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS - Tecnologia em Óptica e Optometria  
Óptica Oftálmica – aula 3

Quando a luz atravessa meios mais densos, como o vidro, a água ou mesmo o ar cada cor adquire uma velocidade distinta. As cores de menor comprimento, como a cor azul, sofrem uma redução de velocidade maior do que as cores de maior comprimento, como o vermelho.

Se incidência em relação fronteira entre os meios não for perpendicular a cor azul desviará mais do que a cor vermelha, as cores intermediárias, como o verde e o amarelo apresentarão desvios intermediários.

FIGURA – Luz branca incidindo de forma perpendicular e não perpendicular e a separação da luz.



No desenho número 1 como a luz está incidindo de forma perpendicular a fronteira entre os meios, não haverá desvio, mesmo assim cada cor avançará com uma velocidade de diferente. Já no desenho número 2, onde a luz incide de forma oblíqua cada cor terá um desvio diferente.

Quando a luz branca muda de meio e as cores sofrem desvios diferentes ocorre uma separação das cores denominada de “dispersão cromática”. Assim para cada cor teremos índices de refração diferentes. O índice da cor azul será diferente do índice da cor verde e da cor vermelha. Não existe índice de refração para a luz branca.

Este fenômeno foi mais bem demonstrado por Newton com a utilização de prismas.

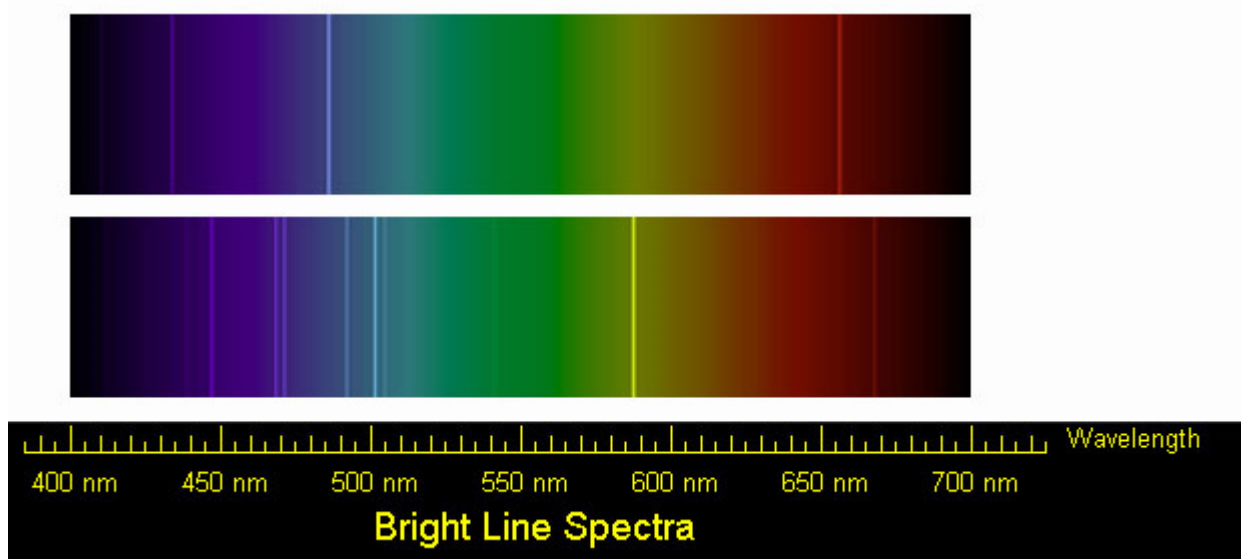
UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS - Tecnologia em Óptica e Optometria  
Óptica Oftálmica - aula 3



Como padrão, ou referência para Índice de Refração, as normas adotam duas cores específicas, dois comprimentos de onda de referência. Nos Estados Unidos adota-se o comprimento de onda referente ao Hélio, com 587,6 nanômetros, indicado pela letra “ $n_d$ ”, que corresponde a uma cor mais próxima do amarelo. Na Europa utiliza-se o comprimento de onda de 546,1 nanômetros, indicado por “ $n_e$ ”, correspondente ao verde amarelado, referente ao mercúrio.

Uma característica dos elementos químicos, quando submetidos um estímulo, como o calor ou descarga elétrica, a ponto de emitir luz, é apresentar um espectro luminoso, onde se podem identificar comprimentos de onda específicos, que caracterizam uma cor bem definida. Podemos identificar um material através dos comprimentos de onda característicos de seu espectro luminoso.

Abaixo temos a luz emitida pelo Hidrogênio, na faixa de cima, e pelo Hélio, na faixa de baixo, decomposta nas cores características:



UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS - Tecnologia em Óptica e Optometria  
Óptica Oftálmica – aula 3

Foto tirada do site da NASA.

[http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/teachers/lessons/xray\\_spectra/worksheet-specgraph2-sol.html](http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/teachers/lessons/xray_spectra/worksheet-specgraph2-sol.html)

Observe como a linha amarela do Hélio existe uma faixa amarela bem definida e no hidrogênio se destacam as cores azul e vermelho. Assim, algumas cores ou comprimentos de onda se destacam entre os demais comprimentos ou cores. Estes comprimentos particulares são utilizados como referência para a classificação dos materiais e projeto de lentes oftálmicas.

Abaixo apresentamos a tabela retirada do catálogo da Corning, que apresenta todas as propriedades dos vidros (conhecidos em óptica como cristais) utilizados em lentes oftálmicas, relativa às propriedades do cristal alto índice 1,7.

### **REFRACTIVE INDEX**

<b>Line</b>		<b><math>\lambda</math> (nm)</b>	<b>Value</b>
<b>F'</b>	<b>Cadmium</b>	<b>480.0</b>	<b>1.71384</b>
<b>F</b>	<b>Hydrogen</b>	<b>486.1</b>	<b>1.71284</b>
<b>e</b>	<b>Mercury</b>	<b>546.1</b>	<b>1.70502</b>
<b>d</b>	<b>Helium</b>	<b>587.6</b>	<b>1.70010</b>
<b>C'</b>	<b>Cadmium</b>	<b>643.8</b>	<b>1.69681</b>
<b>C</b>	<b>Hydrogen</b>	<b>656.3</b>	<b>1.69600</b>
<b>Abbe Number</b>		<b>ve</b>	<b>41.4</b>
		<b>vd</b>	<b>41.6</b>

As letras (índices) que acompanham o “n” e “V”, foram definidas por *Fraunhofer* e correspondem a comprimentos de onda específicos.

$\lambda$	Fraunhofer	Elemento	Cor
404.66	h	Hg	violeta
435.84	g	Hg	azul
479.19	F'	Cd	azul

UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS - Tecnologia em Óptica e Optometria  
Óptica Oftálmica - aula 3

486.13	F	H	azul
546.07	e	Hg	verde
587.56	d	He	amarelo
589.3	D	Na	amarelo
643.85	C'	Cd	vermelho
656.27	C	H	vermelho
706.52	r	He	vermelho
768.2	A'	K	vermelho

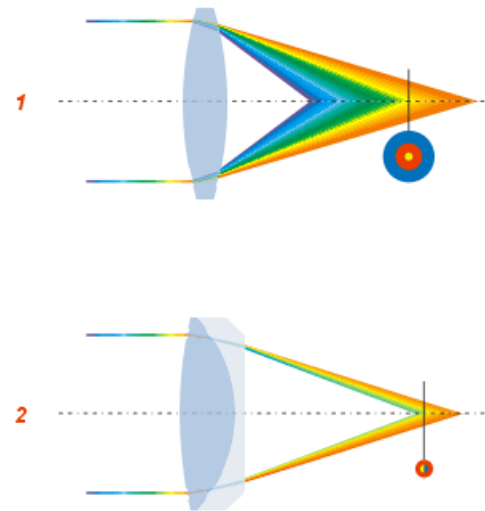
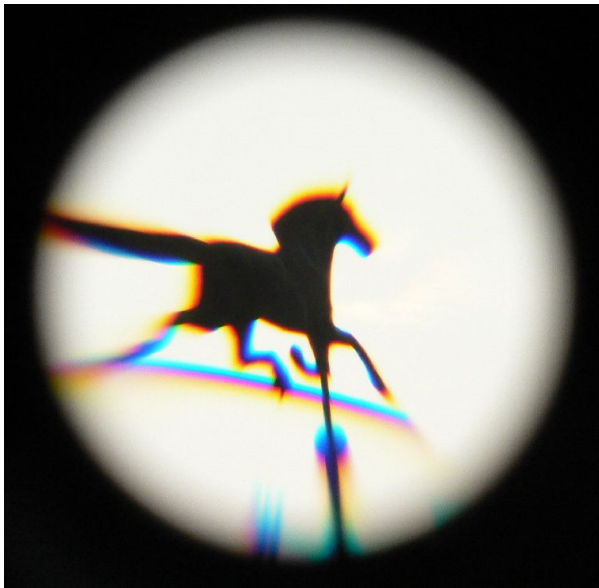
Infelizmente é muito difícil obter este tipo de informação para os materiais orgânicos. Mesmo para o CR39, que é o material mais antigo utilizado em lentes oftálmicas estas informações não estão facilmente disponíveis.

Assim como o índice de refração é uma propriedade característica do material, outra importante propriedade a ser considerada é chamada de *constringência* e representada pelo *número de Abbe*. Este número é utilizado para quantificar a magnitude da aberração cromática de um material. Quanto menor o número de Abbe maior é a dispersão cromática do material.

O número de Abbe é calculado pelas fórmulas:

$$V_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C} \quad \text{ou} \quad V_e = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$

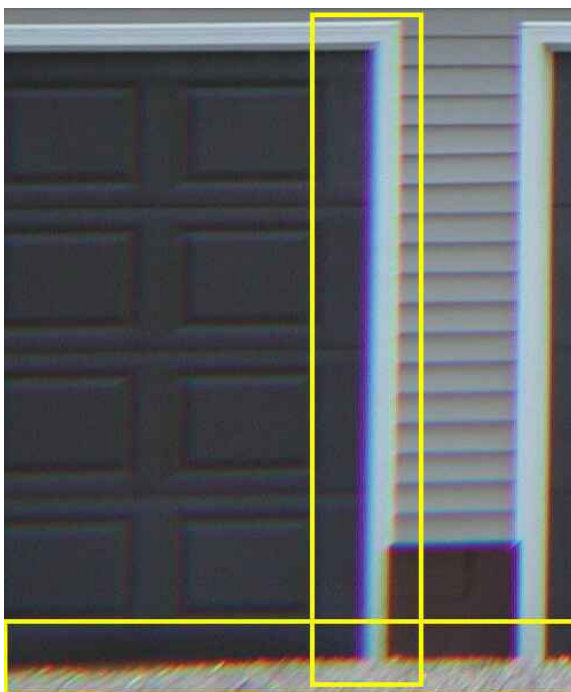
Quanto maior o índice de refração do material, maior é possibilidade de fabricarmos lentes mais finas para uma necessidade específica de um paciente, porém também maior a dispersão cromática. Na prática significa que o usuário de uma lente com grande dispersão cromática poderá se incomodar com a perda de nitidez provocada pela falta de focalização da lente para algumas cores. As figuras a seguir mostram como se enxerga através de uma lente de alta dispersão cromática. Naturalmente isto dependerá da sensibilidade do cliente e da potência dióptrica da lente.



Aberração cromática

[www.tlc-systems.com/pp011185crp.jpg](http://www.tlc-systems.com/pp011185crp.jpg)

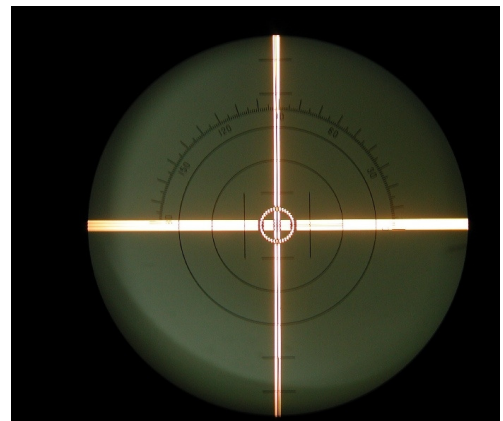
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lens\\_chromatic\\_aberration.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lens_chromatic_aberration.png)



Já que o amarelo ou o verde são referências para indicar o índice de refração, para

UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS - Tecnologia em Óptica e Optometria  
Óptica Oftálmica – aula 3

quem domina o processo de Lensometria, que significa medir o poder dióptrico de uma lente, entenderá porque a cor da maioria da figura dos Lensômetros é verde ou amarelada. Significa também que ao medirmos uma lente de alta dispersão cromática não identificaremos este problema no Lensômetro, pois ele está ajustado somente para uma cor. Em alguns Lensômetros digitais, utilizam a cor vermelha para medir é necessário informar o número de Abbe da lente para se obter uma medida mais precisa.



A cor amarela ou verde amarelada foi escolhida, pois é aquela para a qual o olho humano tem maior sensibilidade, precisamos de uma pequena quantidade de luz amarela para enxergar e uma maior quantidade das demais cores. O gráfico abaixo procura ilustrar nossa sensibilidade às cores. Por exemplo, para o comprimento de 450 nm, que corresponde à luz azul, ou para o comprimento de onda de 680 nm, que corresponde a luz vermelha, observamos uma sensibilidade de apenas aproximadamente 5%, o que significa que se utilizarmos uma lâmpada azul ou vermelha para iluminar o ambiente ela precisará ser “mais forte” do necessitaríamos caso utilizássemos uma lâmpada amarela.

Nas figuras que se seguem mostramos dois gráficos de sensibilidade do olho humano. O gráfico 1 é relativo a sensibilidade em ambientes de pouca luminosidade e no gráfico 2 de grande luminosidade. A visão sob grande luminosidade é denominada de visão fotóptica e a sob baixa luminosidade de escotópica. Sob ambientes de baixa luminosidade nossa sensibilidade à luz azul aumenta. Comparando os gráficos observe que o pico do gráfico de sensibilidade ocorre próximo de 510 nm, enquanto que sob luz forte o pico é em torno de 560 nm. Em ambos os gráficos destacamos um ponto qualquer



UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS - Tecnologia em Óptica e Optometria  
Óptica Oftálmica – aula 3

do espectro com um círculo preto, correspondente a freqüência de 450 nm, correspondente ao azul, onde observamos que na condição de pouca iluminação (gráfico 1) a sensibilidade é maior.

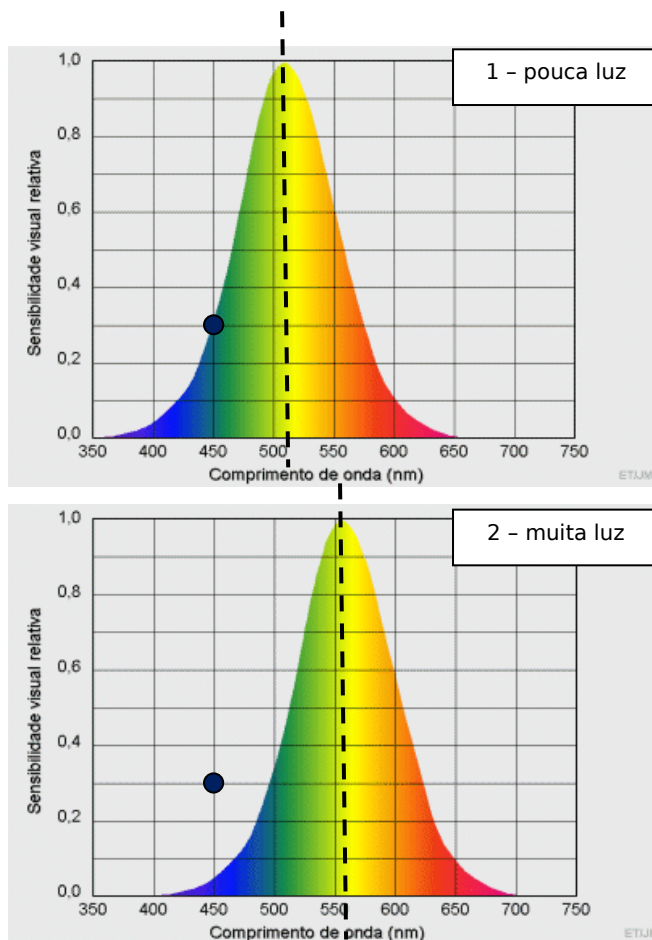


FIGURA – gráfico da sensibilidade do olho humano às cores.