

Óptica
Oftálmica

S. Mogo

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

Efeitos secundários da utilização de lentes oftálmicas e problemas de adaptação

Óptica Oftálmica

S. Mogo

Departamento de Física
Universidade da Beira Interior

2024 / 25

Outline

- 1 Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas
- 2 Distorção astigmática da imagem
- 3 Visão binocular com lentes oftálmicas
- 4 Reflexos e imagens secundárias
- 5 Problemas associados a lentes oftálmicas de potência elevada

Outline

- 1 Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas
- 2 Distorção astigmática da imagem
- 3 Visão binocular com lentes oftálmicas
- 4 Reflexos e imagens secundárias
- 5 Problemas associados a lentes oftálmicas de potência elevada

Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

Sempre que um objecto capta a nossa atenção, os olhos rodam de maneira a fazer com que a sua imagem retiniana se forme na fóvea de cada olho — **fixação**.



Campo de fixação monocular → extensão angular até à qual cada olho pode rodar em qualquer direcção a partir da posição primária do olhar.

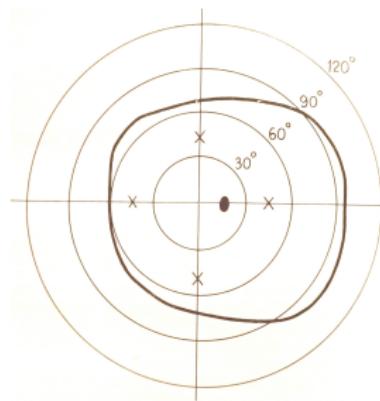
- Objectos cuja imagem se forma na fóvea, são percebidos em **visão macular (directa)**.
- Objectos cuja imagem se forma em qualquer outra zona da retina, são percebidas em **visão periférica (indirecta)**.



Campo de visão monocular → extensão angular que pode ser percebida por cada olho em visão periférica, com os olhos na posição primária do olhar.

Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

A utilização de lentes oftálmicas limita ambos, o campo foveal e o campo periférico.



Além disso, o desvio sofrido pelos raios que atravessam a lente no seu bordo dão origem a uma distinção entre os campos de visão **real** e **aparente**.

Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

Ampliação/CV

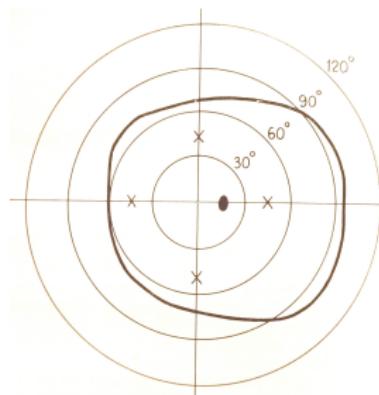
Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

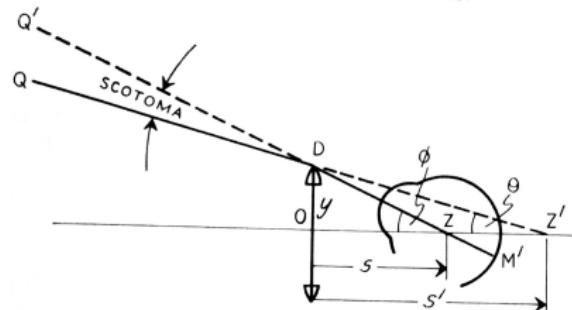
As lentes oftálmicas raramente têm forma circular, sendo por isso útil definir os **semicampos de visão**, ou seja os campos medidos em qq direcção a partir do eixo óptico.



Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

Lentes positivas

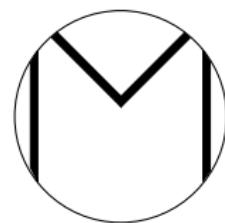
O semicampo macular em qualquer direcção é limitado pelo raio DZ (passa pela periferia da lente e pelo centro de rotação ocular):



Z — centro de rotação ocular

DZ — raio que limita o campo

Z, Z' — planos objecto e imagem



Escotoma

provocado pela utilização de uma lente positiva.

Se o olho rodar ϕ , um objecto na direcção Z'DQ tem a sua imagem formada na fóvea e é percebido na direcção ZDQ'.

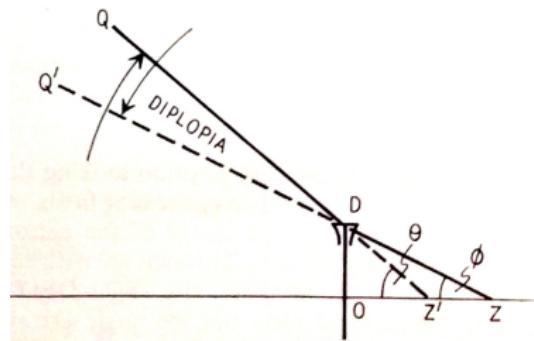
ϕ — semi campo de visão macular aparente

θ — semi campo de visão macular real

Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

Lentes negativas

Para uma lente negativa, o campo real é maior que o aparente.



Z — centro de rotação ocular

DZ — raio que limita o campo

Z, Z' — planos objecto e imagem



Diplopia provocada
pela utilização de
uma lente negativa.

Se o olho rodar ϕ , um objecto na direcção Z'DQ tem a sua imagem formada na fóvea e é percebido na direcção ZDQ'.

ϕ — semi campo de visão macular aparente

θ — semi campo de visão macular real

Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

Lentes positivas e lentes negativas

No caso de uma lente positiva:

- **escotoma anelar** com a forma da lente.
(atenção que este escotoma não se deve à armação dos óculos mas sim à própria lente)

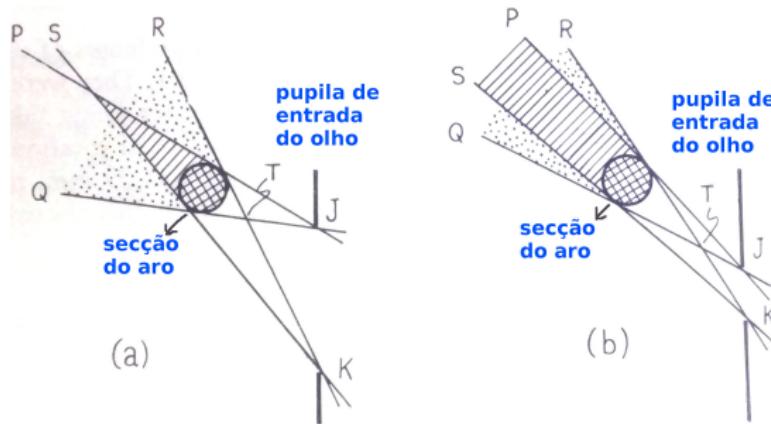
No caso de uma lente negativa:

- **banda anelar de diplopia** com a forma da lente.



Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

Escotoma devido à armação



JP, JQ, KR e KS — linhas tangentes aos limites do aro e da pupila de entrada do olho

- (a) Obstrução + pequena que a pupila de entrada do olho
- (b) Obstrução maior que a pupila de entrada do olho

Ampliação devida aos óculos

Visão ao longe

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

Ampliação devida aos óculos → razão entre a ampliação da imagem retiniana com lente correctora e sem lente correctora.

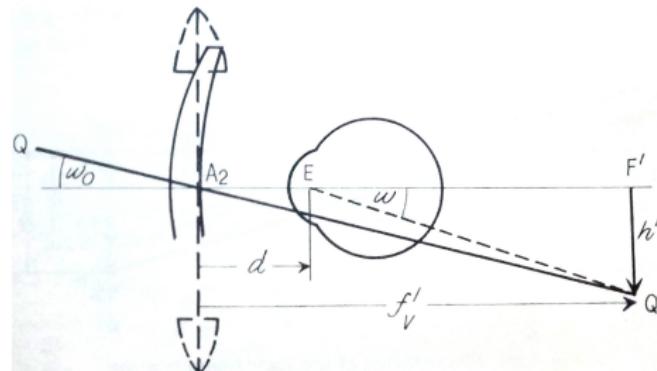


A ampliação devida aos óculos depende de dois factores:

- **factor de potência**: depende da potência ao vértice posterior e da distância ao vértice da lente;
- **factor de forma**: depende da potência da superfície anterior e da espessura da lente.

Ampliação devida aos óculos

Visão ao longe: factor de potência



Q, Q' — objecto e imagem dada pela lente
 Q' torna-se um objecto virtual para o olho

Utilizando a aproximação paraxial: $\omega_0 = -\frac{h'}{f'_v}$ e $\omega = -\frac{h'}{f'_v - d}$

Ampliação:

$$m = \frac{\omega}{\omega_0} \Leftrightarrow m = \frac{1}{1 - dF'_v}$$

FACTOR DE POTÊNCIA

Ampliação devida aos óculos

Visão ao longe: factor de potência

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

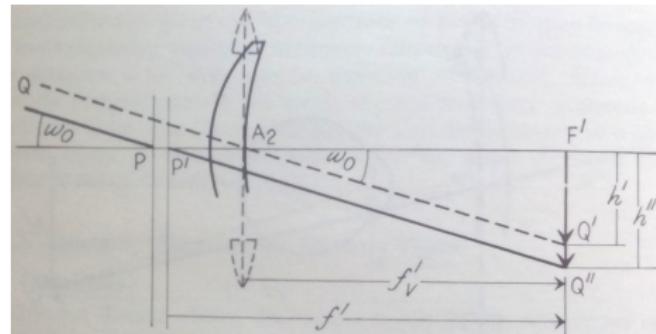
$$m = \frac{1}{1-dF'_v}$$

No caso de:

- lentes positivas: $m > 1 \Rightarrow$ ampliação;
- lentes negativas: $m < 1 \Rightarrow$ redução.

Ampliação devida aos óculos

Visão ao longe: factor de forma



f'_v — dist. focal ao vértice posterior da lente real

f' — dist. focal equivalente de 1 lente fina colocada no vértice posterior

h' — altura da imagem dada pela lente fina

h'' — altura da imagem dada pela lente real (depende da posição dos pontos principais)

Utilizando a aproximação paraxial: $\omega_0 = -\frac{h'}{f'_v}$ e $\omega_0 = -\frac{h''}{f'}$

$$\text{Ampliação: } m = \frac{h''}{h'} \Leftrightarrow m = \frac{F'_v}{F'}$$

FACTOR DE FORMA

Ampliação devida aos óculos

Visão ao longe: factor de forma

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

$$m = \frac{F'_v}{F}$$

- $m > 1$ para todas as lentes com superfície frontal (F_1) convexa.

Ampliação devida aos óculos

Visão ao longe

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

Spectacle Magnification of Some Typical Lenses
(Distance vision: $a = 16$ mm.)

Specification of Lens			Power Factor	Shape Factor	Spectacle Magnification (P. S)
$F'v$	t (mm.)	F_1	(P)	(S)	
-20.00	0.7	0	0.758	1.000	0.758
-16.00	0.7	0	0.796	1.000	0.796
-12.00	0.8	+3.00	0.839	1.002	0.841
-8.00	0.8	+3.00	0.887	1.002	0.889
-4.00	0.8	+4.49	0.940	1.002	0.942
0	1.8	+5.96	1.000	1.007	1.007
+4.00	3.6	+8.81	1.068	1.021	1.090
+8.00	5.0	+10.62	1.147	1.036	1.188

Bennet,A., Emsley and Swaine's Ophthalmic Lenses, Volume I, The Hatton Press Ltd., 1968.

Ampliação devida aos óculos

Visão próxima

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

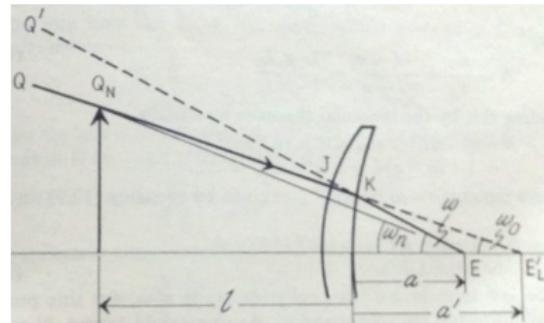
Alta potência

Em **visão próxima** a ampliação devida aos óculos depende de 3 factores:

- factor de potência;
- factor de forma;
- factor de proximidade.

Ampliação devida aos óculos

Visão próxima



QJKE — raio proveniente de um ponto objecto distante, Q
E — centro da pupila de entrada do olho

ω_0 — ângulo subtendido pelo objecto no olho

ω — ângulo aparente subtendido pelo objecto no olho

Q_N — objecto próximo

ω_n — ângulo subtendido pelo objecto próximo no olho

Ampliação: $m = \frac{\omega}{\omega_n} \Leftrightarrow m = \frac{\omega}{\omega_0} \frac{\omega_0}{\omega_n}$, onde

$m = \frac{\omega}{\omega_0}$ é a ampliação para visão ao longe e

$m = \frac{\omega_0}{\omega_n}$ é a

ampliação para visão próxima.

FACTOR DE PROXIMIDADE

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

Outline

- 1 Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas
- 2 Distorção astigmática da imagem
- 3 Visão binocular com lentes oftálmicas
- 4 Reflexos e imagens secundárias
- 5 Problemas associados a lentes oftálmicas de potência elevada

Distorção astigmática da imagem

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

Uma lente cilíndrica tem diferentes ampliações nos seus meridianos principais.



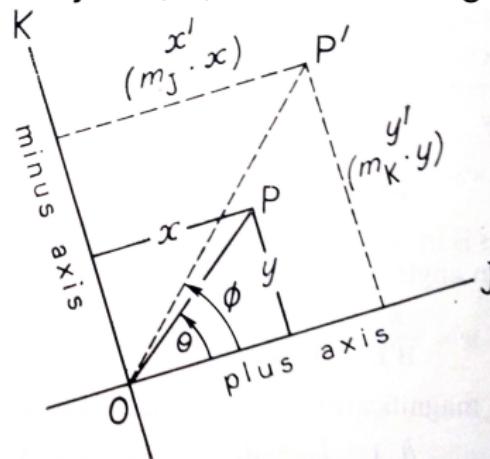
O resultado é um alongamento da imagem no meridiano do cilindro que produza a maior ampliação.



Se os meridianos principais tiverem qualquer orientação oblíqua, linhas horizontais e verticais passam a ser percebidas inclinadas — **distorção em tesoura**.

Distorção astigmática da imagem

O efeito da distorção astigmática da imagem pode ser determinado observando as coordenadas de um ponto objecto, P, e da sua imagem P':



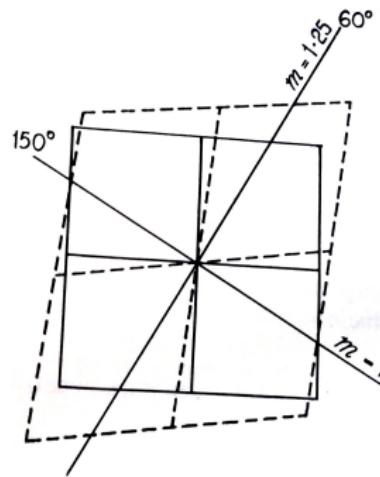
OJ, OK — meridianos principais
P — ponto objecto com coordenadas (x, y)
P' — imagem do ponto P
(coordenadas (x', y'))
 m_J — ampliação no meridiano OJ
 m_K — ampliação no meridiano OK

$$x' = m_J x$$

$$y' = m_K y$$

Distorção astigmática da imagem

Aplicando o mesmo raciocínio a um objecto quadrado cuja imagem é obtida através de uma lente cilíndrica cuja ampliação seja 1.25 no meridiano 60° e 1 no meridiano 150° :



Outline

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

1 Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas

2 Distorção astigmática da imagem

3 Visão binocular com lentes oftálmicas

4 Reflexos e imagens secundárias

5 Problemas associados a lentes oftálmicas de potência elevada

Visão binocular com lentes oftálmicas

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

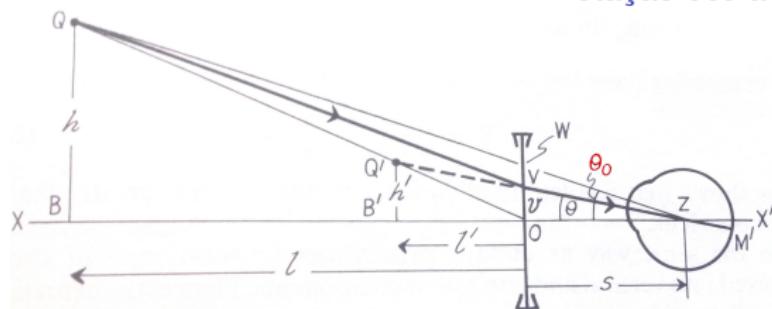
Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

A utilização de óculos afecta a visão binocular de 3 formas:

- a **rotação ocular** necessária para observar um objecto a dada distância é alterada;
- a **acomodação** é alterada pela potência da lente;
- o **tamanho da imagem retiniana** é alterado pela ampliação devida às lentes.



XX' — posição primária

Z — centro de rotação ocular

θ_0 — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q se não houver lente

$$\theta_0[\Delta] = \frac{h}{-l+s} = \frac{-hLS}{S-L} \text{ (h em cm)}$$

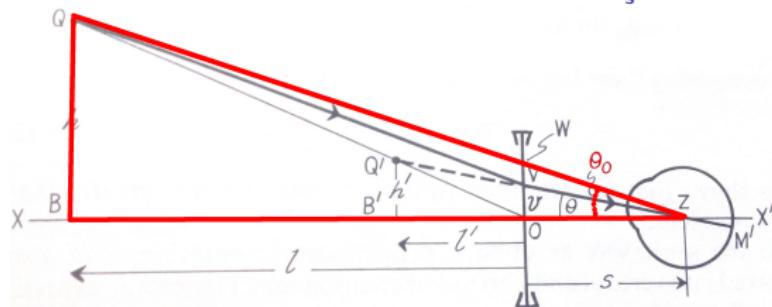
θ — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q' através da lente

$$\theta[\Delta] = \frac{h'}{-l' + s} = \frac{-hLS}{S-L-F} \quad (h \text{ em cm})$$

$$(L' - L = F)$$

Combinando as duas expressões:

$$\theta(S - L - F) = \theta_0(S - L) \Leftrightarrow \theta = \left(\frac{S - L}{S - L - F}\right)\theta_0$$



XX' — posição primária

Z — centro de rotação ocular

θ_0 — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q se não houver lente

$$\theta_0[\Delta] = \frac{h}{-L+s} = \frac{-hLS}{S-L} \text{ (h em cm)}$$

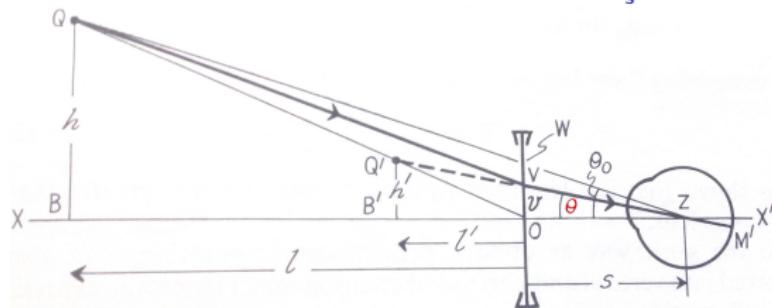
θ — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q' através da lente

$$\theta[\Delta] = \frac{h'}{-l' + s} = \frac{-hLS}{S-L-F} \text{ (h em cm)}$$

$$(L' - L = F)$$

Combinando as duas expressões:

$$\theta(S - L - F) = \theta_0(S - L) \Leftrightarrow \theta = \left(\frac{S - L}{S - L - F}\right)\theta_0$$



XX' — posição primária

Z — centro de rotação ocular

θ_0 — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q se não houver lente

$$\theta_0[\Delta] = \frac{h}{-l+s} = \frac{-hLS}{S-L} \text{ (h em cm)}$$

θ — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q' através da lente

$$\theta[\Delta] = \frac{h'}{-l'+s} = \frac{-hLS}{S-L-F} \text{ (h em cm)}$$

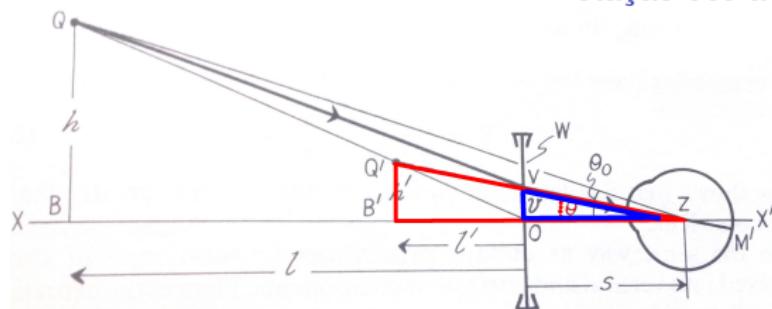
$$(L' - L = F)$$

Combinando as duas expressões:

$$\theta(S - L - F) = \theta_0(S - L) \Leftrightarrow \theta = \left(\frac{S - L}{S - L - F}\right)\theta_0$$

Visão binocular com lentes oftálmicas

Rotação ocular



XX' — posição primária

Z — centro de rotação ocular

θ_0 — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q se não houver lente

$$\theta_0[\Delta] = \frac{h}{-L+s} = \frac{-hLS}{S-L} \quad (h \text{ em cm})$$

θ — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q' através da lente

$$\theta[\Delta] = \frac{h'}{-L'+s} = \frac{-hLS}{S-L-F} \quad (h \text{ em cm})$$

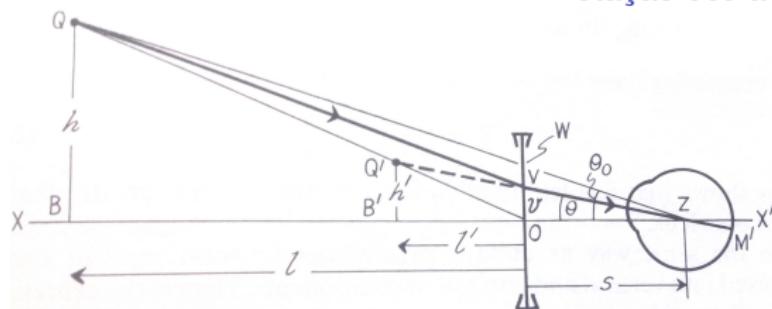
$(L' = L = F)$

Combinando as duas expressões:

$$\theta(S - L - F) = \theta_0(S - L) \Leftrightarrow \boxed{\theta = \left(\frac{S - L}{S - L - F}\right) \theta_0}$$

Visão binocular com lentes oftálmicas

Rotação ocular



XX' — posição primária

Z — centro de rotação ocular

θ_0 — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q se não houver lente

$$\theta_0[\Delta] = \frac{h}{-l+s} = \frac{-hLS}{S-L} \quad (h \text{ em cm})$$

θ — ângulo que o olho tem de rodar p/observar o ponto Q' através da lente

$$\theta[\Delta] = \frac{h'}{-l'+s} = \frac{-hLS}{S-L-F} \quad (h \text{ em cm})$$

$(L' = L = F)$

Combinando as duas expressões:

$$\theta(S - L - F) = \theta_0(S - L) \Leftrightarrow \theta = \left(\frac{S - L}{S - L - F} \right) \theta_0$$

Visão binocular com lentes oftálmicas

Rotação ocular

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

$$\theta = \left(\frac{S-L}{S-L-F} \right) \theta_0$$

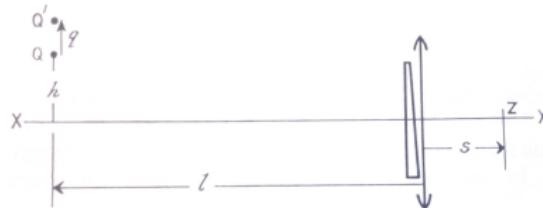
- Se a lente for negativa: $\theta < \theta_0$;
- se a lente for positiva: $\theta > \theta_0$.

TPC: fazer esquema para lente positiva!

VB com lentes oftálmicas

Rotação ocular devida a prismas ou efeitos prismáticos produzidos por lentes descentradas.

Prisma ou lente descentrada para produzir um efeito prismático de potência P :



Acção do prisma ou do descentramento:

- formar a imagem de Q em Q';
- se não houver prisma: $\theta[\Delta] = \frac{-hLS}{S-L-F}$ (h em cm);
- rotação devida ao prisma: $\Delta\theta[\Delta] = \frac{-qLS}{S-L-F}$ (h em cm);
- desvio angular produzido pelo prisma: $P = -qL$.

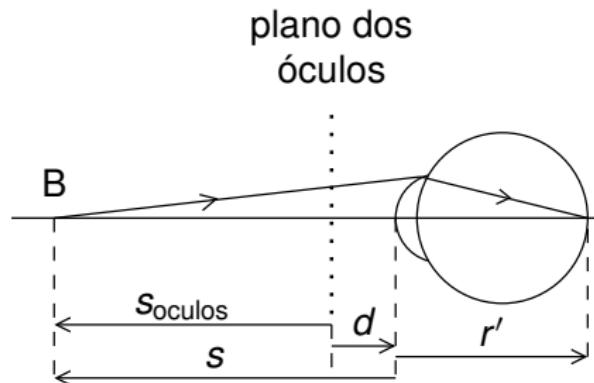
Qtdd de rotação ocular devida ao prisma:

$$\Delta\theta[\Delta] = P \frac{S}{S-L-F}$$

VB com lentes oftálmicas

Acomodação ocular e acomodação no ponto dos óculos

Consideraremos um objecto próximo, B, situado a uma distância $s_{óculos}$ do plano dos óculos:



Devido à separação entre a lente e o olho, a acomodação ocular, $A_{oc} = 1/s$, é diferente da acomodação no ponto dos óculos, $A_{óculos} = 1/s_{óculos}$:

$$s = s_{óculos} - d \Leftrightarrow A_{oc} = A_{óculos} - d$$

Outline

- 1 Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas
- 2 Distorção astigmática da imagem
- 3 Visão binocular com lentes oftálmicas
- 4 Reflexos e imagens secundárias
- 5 Problemas associados a lentes oftálmicas de potência elevada

Reflexos e imagens secundárias

Nem toda a luz que incide nas superfícies da lente é refractada.



Alguma luz é reflectida, de acordo com as leis da reflexão, como se a superfície da lente fosse um espelho.

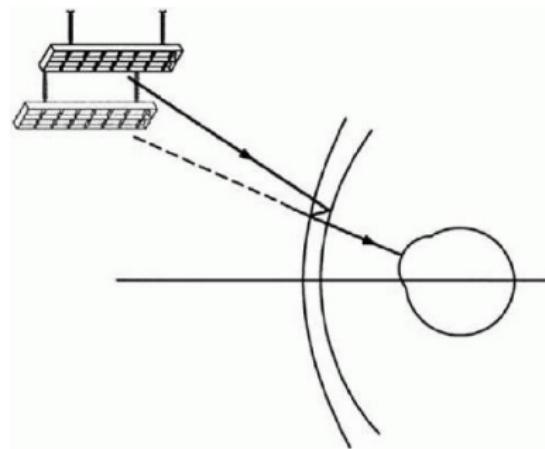


Estas reflexões causam dois tipos problemas:

- dão origem às chamadas **imagens fantasma** que, embora débeis, podem incomodar o utilizador;
- reflexões invisíveis para o utilizador mas que incomodam quem o estiver a observar.

Reflexos e imagens secundárias

Imagen fantasma 21



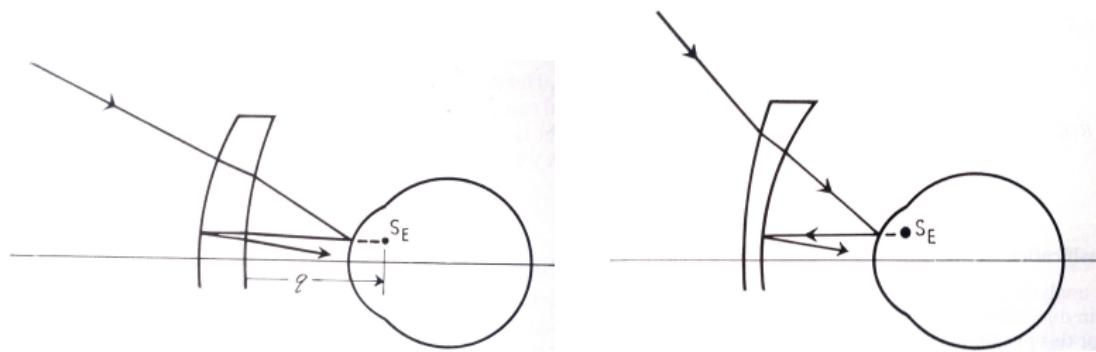
<https://entokey.com/spectacle-lens-tints-and-coatings/>

É formada por reflexão na 2^a superfície da lente e depois,
nova reflexão na 1^a superfície.

Esta é a imagem fantasma mais relevante.

Reflexos e imagens secundárias

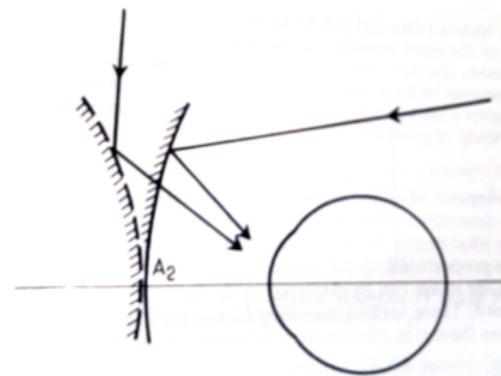
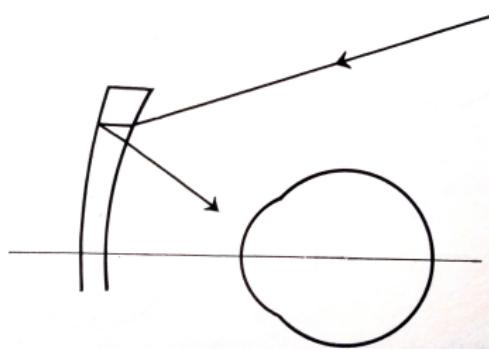
Imagens fantasma C1 e C2



Formadas por reflexão na superfície da córnea e depois, nova reflexão na 1^a superfície ou na 2^a superfície da lente.

Reflexos e imagens secundárias

Imagens fantasma 1(R) e 2(R)



Formadas por luz proveniente de trás do utilizador e reflectida na 1^a superfície ou na 2^a superfície da lente. Quanto a 2^a superfície da lente é convexa, a abrangência é maior.

De menor importância que as anteriores.

Métodos de resolução de problemas com reflexos e imagens secundárias

A solução para este tipo de problemas consiste na utilização de **tratamentos antireflexo** que consistem na aplicação de uma camada fina de um material com índice de refracção diferente do material da lente e cujo objectivo é produzir **interferência destrutiva** entre os raios de luz indesejados.

Outline

- 1 Ampliação e campo de visão com lentes oftálmicas
- 2 Distorção astigmática da imagem
- 3 Visão binocular com lentes oftálmicas
- 4 Reflexos e imagens secundárias
- 5 Problemas associados a lentes oftálmicas de potência elevada

Problemas associados a lentes oftálmicas de potência elevada

Ampliação/CV

Distorção
astigmática

Óculos e VB

Reflexos

Alta potência

- Peso;
- espessura: qualidade óptica / estética;
- problemas devidos a aberrações;
- efeito prismático: deslocamento de imagem;
- salto de imagem em multifocais;
- anisometropia;
- aniseiconia.