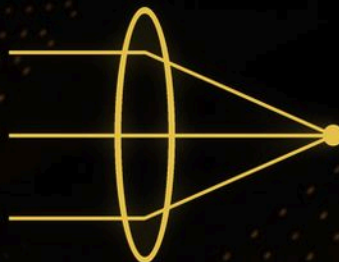


Apostila gratuita

VERGÊNCIA, FORMAÇÃO DE IMAGENS, ESPELHOS E ABERRAÇÕES ÓPTICAS

Vergência da luz · Imagens reais e virtuais · Espelhos ·
Aberrações



Capítulo do livro Óptica, refração e VSN, lentes de contato e refrativa ·
Oft-Review, 2026

VERGÊNCIA DA LUZ

A vergência da luz deve ser compreendida como **o poder da frente de onda luminosa, sendo medida em dioptrias**. O conceito de vergência explica porque a luz focaliza em diferentes focos numa mesma lente: o foco dependerá do poder da frente de onda que atinge a lente.

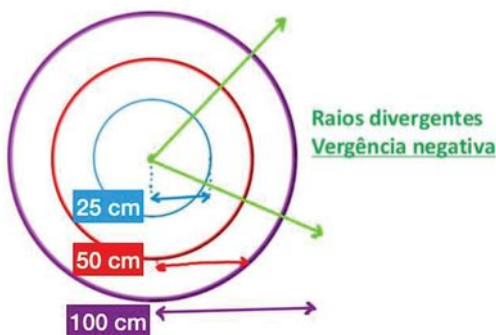
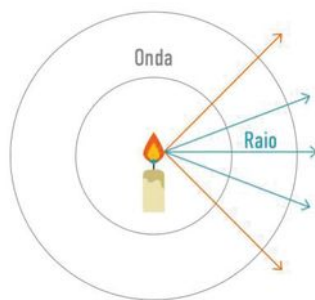
- Raios divergentes têm vergência negativa. As fontes naturais de luz sempre emitem raios divergentes.
- Quanto mais próximo do ponto de divergência, maior a vergência negativa da frente de onda. A vergência da luz em um determinado ponto é igual ao inverso da distância em metros entre a fonte de luz ou o objeto e este ponto.

$$V = 1/d$$

Exemplos

- A vergência da luz a 25 cm da fonte de luz é de -4,00D.
- A vergência da luz a 50 cm da fonte de luz é de -2,00 D.
- A vergência da luz a 100 cm da fonte de luz é de -1,00 D.
- A luz que sai de um objeto localizado a 2 m de uma lente chega a esta com vergência de -0,50 D.

Raios divergentes
Vergência negativa

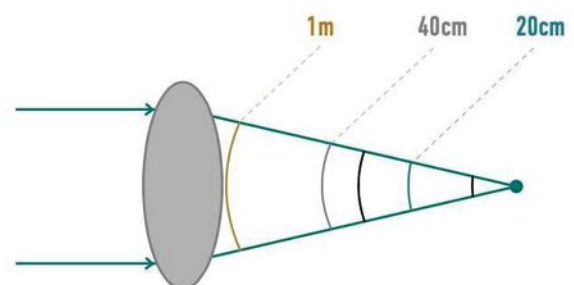
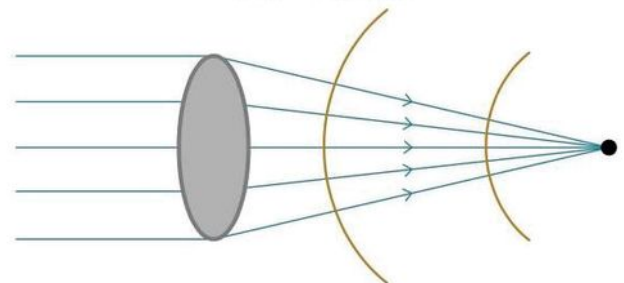


- Raios convergentes têm vergência positiva.
- Quanto mais próximo do ponto de convergência, maior é a vergência da frente de onda. A vergência da luz em um determinado ponto é igual ao inverso da distância em metros entre este ponto e o ponto de convergência.

Exemplos

- A vergência da luz a 25 cm do ponto de convergência é de +4,00 D.
- A vergência da luz a 100 cm do ponto de convergência é de +1,00 D.

Raios convergentes
Vergência positiva



- Raios paralelos têm vergência zero. A frente de onda de uma fonte no infinito é tão uniforme que os raios são paralelos e a vergência é zero.

APRENDENDO COM QUESTÕES

OFT-REVIEW

Qual é a vergência da frente de onda que atinge os olhos de uma pessoa realizando a leitura de um livro a 25 cm de distância?

Gabarito - -4,00 D

Comentário: Como sabemos, a vergência da luz que sai de uma fonte natural ou de um objeto é sempre negativa e corresponde ao inverso da distância em metros entre o objeto e o ponto em questão.

$$V = 1/d$$

$$V = 1/0,25$$

$$V = -4,00 D.$$

OFT-REVIEW

Considerando que a pessoa seja emétrepe, quanto seu olho terá que acomodar para ver nitidamente o livro?

Gabarito - +4,00 D

Comentário: Em um indivíduo emétrepe, apenas os raios que vêm do infinito, com vergência 0, focalizam na fóvea. Para ver nitidamente é necessário neutralizar a vergência de -4,00, acomodando, portanto, +4,00.

OFT-REVIEW

Se o indivíduo for hipermetrópe de +2,00 D, sem correção, quanto terá que acomodar para enxergar o livro nitidamente?

Gabarito - +6,00 D

Comentário: O olho hipermetrópe de +2,00 D não corrigido já acomoda +2,00 D para ver nitidamente de longe, precisando de +4,00 D para ver nitidamente a 25 cm, totalizando +6,00 D.

O que fazem as lentes?

As lentes modificam a vergência dos raios.

- Se uma lente converge os raios, ela tem poder positivo.
- Se uma lente diverge os raios, ela tem poder negativo. Quando uma lente diverge os raios, a imagem do objeto é formada pelo prolongamento dos mesmos e localizada "antes" da lente. Esta imagem é chamada de imagem virtual.

Fórmula da vergência

Para calcular a vergência da luz que deixa uma lente, utilizamos a seguinte fórmula:

$$V = U + D$$

V: Vergência da luz deixando a lente.

U: Vergência da luz chegando à lente.

D: Quantidade de vergência adicionada à luz pela lente (poder da lente).

Esta fórmula será utilizada para calcular o local de formação das imagens. A vergência dos raios que deixam a lente nos indica onde estes irão focalizar e, conseqüentemente, onde ocorrerá a formação da imagem.

- Se os raios deixarem a lente com vergência positiva, eles irão convergir e formar uma imagem real ("após" a lente).
- Se os raios deixarem a lente com vergência negativa, eles irão divergir e formar uma imagem virtual ("antes" da lente); localizaremos esta imagem pelo prolongamento dos raios divergentes.
- Para encontrar o local de focalização dos raios, que corresponde ao local de formação da imagem, utilizamos a definição de vergência:

$$V = 1/d$$

* Lembre-se que a distância (d) é expressa em metros.

APRENDENDO COM QUESTÕES

OFT-REVIEW

Onde se formará a imagem de um objeto no infinito após passar por uma lente de +4,0 D?

Gabarito - 25 cm após a lente

Comentário: A vergência da luz que sai de um objeto localizado no infinito é igual a 0. Se $V = U + D$, logo:

$$V = 0 + 4 = +4,00.$$

Dessa forma, a luz sai da lente com vergência positiva (convergência). Para encontrar o ponto em que estará a imagem, lembre-se da fórmula $V = 1/d$.

Neste caso, temos que utilizar a vergência da luz que deixa a lente.

$$4 = 1/d$$

$$d = 0,25 \text{ m.}$$

CBO 2023

Qual o foco de uma lente de + 4,00 DE?

- A) 0,25cm
- B) 2,5cm
- C) 25cm
- D) 2,5m

Gabarito – C

Comentário: CBO 2023 com uma questão muito similar à nossa, hein? Apesar de escrita de maneira diferente, e levando a pensar mais para o lado do $D = 1/F$ (da apostila passada), o raciocínio é o mesmo! A resposta é 0,25m, ou, nesse caso, 25cm.

OFT-REVIEW

Onde se formará a imagem de um objeto colocado a 1m de uma lente de + 3,00 D?

Gabarito - 50 cm após a lente

Comentário: Neste caso, a vergência da luz que chega à lente é de -1,00 D. Pela fórmula da vergência: $V = U + D$ $V = -1,00 + 3,00$ $V = +2,00$. Logo, a luz deixa a lente com vergência positiva (convergência) de +2,00 D, focalizando 50 cm após a lente.

OFT-REVIEW

Onde se formará a imagem de um objeto colocado a 25 cm de uma lente de + 2,00 D?

Gabarito - 50 cm antes da lente (imagem virtual)

Comentário: Neste caso, a vergência da luz que chega à lente é de -4,00 D. Pela fórmula da vergência:

$$V = U + D$$

$$V = -4,00 + 2,00$$

$$V = -2,00$$

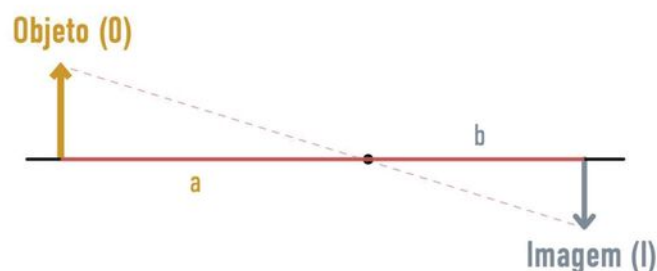
Logo, a luz deixa a lente com vergência negativa (divergência) de -2,00 D. Neste caso, a imagem é formada pelo prolongamento dos raios divergentes, sendo virtual e localizada 50 cm antes da lente (mais afastada do que o objeto).

Formação da imagem em um sistema com duas ou mais lentes

- Encontre a imagem formada pela primeira lente.
- A imagem da primeira lente torna-se objeto da segunda lente, permitindo que encontremos a imagem da segunda lente.
- Se houver outra lente, o processo se repete.

Calculando a altura da imagem formada pela lente esférica

Para calcular a altura da imagem formada por uma lente esférica, conhecendo sua posição em relação à lente, basta aplicar a teoria dos "triângulos semelhantes", a famosa "regra de 3".



O tamanho do objeto "O" está para o tamanho da imagem "I", assim como a distância "a" (distância entre o objeto e a lente) está para a distância "b" (distância entre a imagem e a lente).

É necessário converter todas as medidas para a mesma unidade (metros ou centímetros, por exemplo).

$$O/I = a/b$$

APRENDENDO COM QUESTÕES

AAO

Uma lente de $-3,00$ D está separada de uma lente de $-2,00$ D por 25 cm (a lente de $-3,00$ encontra-se à esquerda da lente de $-2,00$). Um objeto está localizado 100 cm à esquerda da lente de $-3,00$ D. Onde será formada a imagem do sistema?

- A) No plano do objeto.
- B) Entre o objeto e o plano da lente de $-3,00$ D.
- C) No plano da lente de $-3,00$ D.
- D) Entre as duas lentes.

Gabarito - C

Comentário: Como o objeto encontra-se a 100 cm da lente de $-3,00$ D, seus raios chegam à lente com vergência de $-1,00$. Pela fórmula da vergência:

$$V = U + D$$

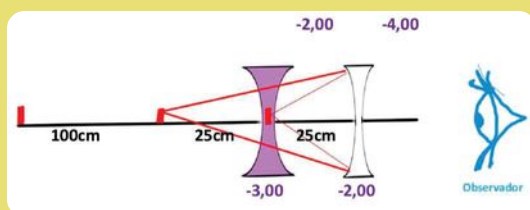
$$V = -1,00 - 3,00 = -4,00.$$

Logo, a luz deixa a primeira lente com vergência negativa de $-4,00$ (divergência). Desta forma, a imagem é formada pelo prolongamento dos raios, focalizando 25 cm à esquerda da lente de $-3,00$ (e consequentemente a 50 cm da lente de $-2,00$ D). Esta imagem torna-se objeto da lente de $-2,00$. Os raios deste objeto chegam à lente de $-2,00$ com vergência de $-2,00$.

$$V = U + D$$

$$V = -2 - 2$$

$$V = -4,00.$$



Logo, a luz também deixa a segunda lente com vergência negativa de $-4,00$ (divergência). A imagem será formada pelo prolongamento dos raios e focalizará 25 cm à esquerda da lente de $-2,00$, coincidindo com o plano da lente de $-3,00$.

CBO 2017

Um objeto de 10 cm de altura é posicionado a 20 cm de uma lente divergente de $6,00$ DE. Assinale a alternativa correta (considere o índice de refração dos meios de incidência e emergência igual a $1,00$):

- A) A imagem formada terá uma altura de $4,5$ cm.
- B) A imagem formada está a uma distância de 19 cm do objeto real.
- C) A imagem será real, invertida e maior.
- D) A imagem será formada no infinito e, portanto, é impossível determinar sua altura.

Gabarito - A

Comentário: O primeiro passo é encontrar o posicionamento da imagem. Se o objeto se encontra a 20 cm da lente, seus raios chegam a ela com vergência de $-5,0$ D. Pela fórmula da vergência:

$$V = U + D$$

$$V = -5 - 6$$

$$V = -11 \text{ D}$$

Desta forma, a imagem será formada pelo prolongamento dos raios e irá se localizar 9 cm antes da lente (imagem virtual). Para calcular o tamanho da imagem, fazemos regra de 3.

$$O/I = P/P'$$

$$10/I = 20/9$$

$$I = 4,5 \text{ cm.}$$

NOTAS

Prezados amigos, nós acreditamos que a melhor forma de encontrar a posição das imagens formadas pelas lentes é através da aplicação do conceito de vergência. Desta forma, vocês não precisam decorar fórmulas mirabolantes. Para calcular o tamanho das imagens utilizamos a famosa regra de 3 ou o conceito de triângulos semelhantes. No entanto, para aqueles que gostam de decorar fórmulas, existe a chamada equação de Gauss, mas ela exigirá cálculos matemáticos mais complexos, inclusive conversão de frações, mínimo múltiplo comum, etc...

Calculando a posição da imagem formada por uma lente esférica

A fórmula dos pontos conjugados ou equação de Gauss nos fornece a posição da imagem conjugada por uma lente esférica a partir da distância focal e da posição do objeto em relação à lente (em metros).

$$1/f = 1/p + 1/p'$$

f = distância focal em metros.

p = distância do objeto em relação à lente em metros.

p' = distância da imagem em relação à lente em metros.

- Lentes positivas têm distância focal positiva.
- Lentes negativas têm distância focal negativa.

APRENDENDO COM QUESTÕES

OFT-REVIEW

Um objeto localizado a 2 m de uma lente convexa de 1D formará uma imagem a:

- A) 0,5 m da lente.
- B) 1 m da lente.
- C) 2 m da lente.
- D) 4 m da lente.

Gabarito - C

Comentário: Calculando o foco da lente de 1D, temos:

$$D = 1/f$$

$$1 = 1/f$$

$$f = 1 \text{ m}$$

Aplicando a fórmula de Gauss:

$$1/f = 1/p + 1/p'$$

$$1/1 = 1/2 + 1/p'$$

$$1/p' = 1/1 - 1/2$$

$$1/p' = 1/2$$

$$p' = 2 \text{ m.}$$

OFT-REVIEW

Um objeto de 2 cm é posicionado a 20 cm de uma lente convergente. Considerando que a lente tem + 20 D, qual o tamanho da imagem formada?

Gabarito - 0,66 cm

Comentário: Aplicando a equação de Gauss e convertendo as medidas para centímetros, temos:

$$1/5 = 1/20 + 1/p'$$

$$1/p' = 1/5 - 1/20$$

$$1/p' = 4/20 - 1/20$$

$$1/p' = 3/20$$

$$p' = 20/3$$

$$p' = 6,66 \text{ cm.}$$

Aplicando os triângulos semelhantes:

$$2/l = 20/6,66$$

$$l = 0,66 \text{ cm.}$$

SEÇÃO 2

OBJETOS E IMAGENS REAIS E VIRTUAIS

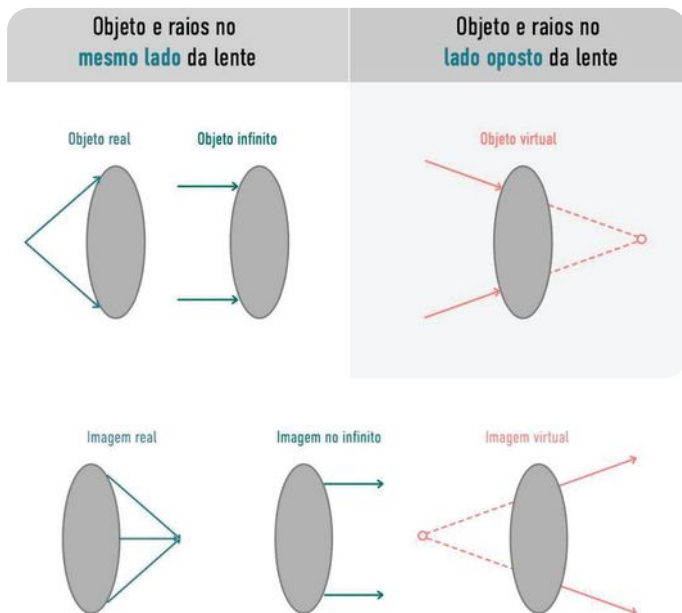
Objetos e imagens reais

- Objetos e imagens reais encontram-se do mesmo lado de seus respectivos raios em relação à lente.
- A imagem real pode ser focalizada em uma tela.

Objetos e imagens virtuais

- São localizados através dos prolongamentos imaginários de seus respectivos raios através da lente. Em outras palavras, objetos e imagens virtuais encontram-se em lados opostos de seus respectivos raios em relação à lente.

- Não é possível focalizar uma imagem virtual em uma tela.



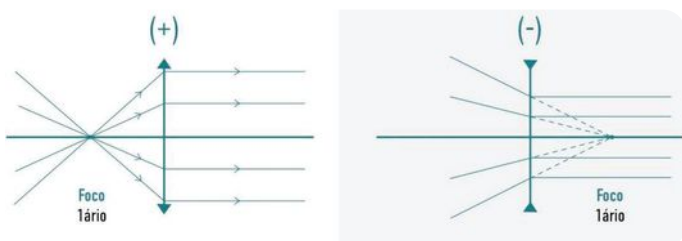
Revisando...

Vamos revisar algumas propriedades dos raios luminosos ao atravessar uma lente antes de iniciarmos o estudo da formação das imagens.

- Todo raio incidente paralelo ao eixo principal emerge da lente em direção ao foco secundário.



- Todo raio incidente que passa pelo foco primário de uma lente convergente ou tem a direção do foco primário de uma lente divergente emerge da lente paralelo ao eixo principal.



- Todo raio que incide sobre o centro óptico passa através da lente sem sofrer desvio.



Formação das imagens nas lentes divergentes

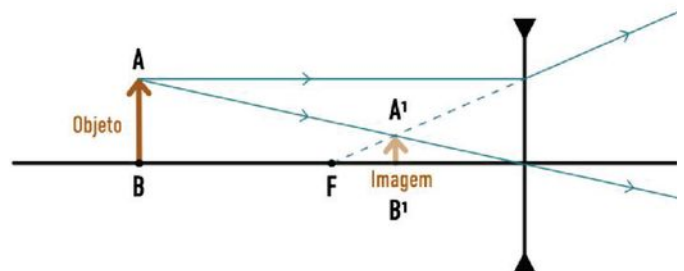
A formação das imagens para as lentes divergentes é muito simples... não importa qual a distância que o objeto está à frente da lente, a imagem será **SEMPRE**:

VIRTUAL, DIRETA (não invertida) e MENOR.

Este conceito é muito importante! Leve ele para a sua prova!

Lente Divergente(-)

Objeto na frente da lente divergente:
Imagem Virtual Direta e Menor



Formação das imagens nas lentes convergentes

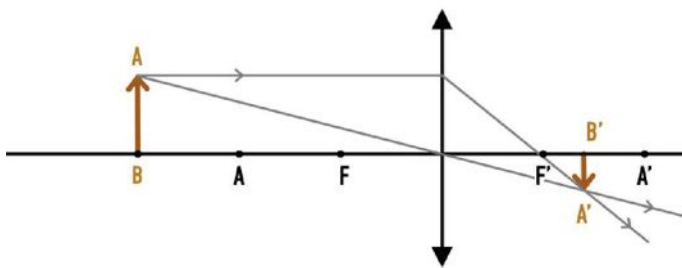
Aqui as coisas complicam um pouco... existem algumas possibilidades, dependendo da distância do objeto em relação à lente e sua relação com o foco primário (F_o) e o ponto antiprincipal objeto.

O ponto antiprincipal objeto (A) corresponde a duas vezes a distância focal e também pode ser chamado de centro de curvatura da lente. Este tema é recorrente nas provas!

OBJETO LOCALIZADO ALÉM DO PONTO ANTIPRINCIPAL OBJETO (A)

- Imagem real, invertida e menor.
- Localizada entre o ponto antiprincipal imagem (A') e o foco secundário (F')

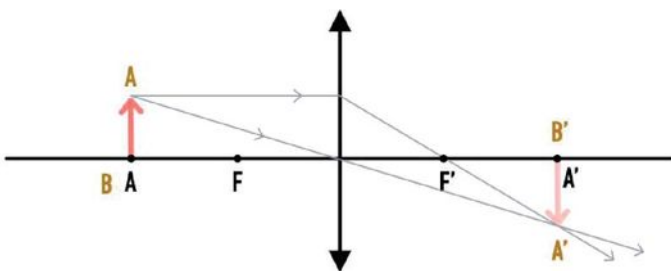
Objeto localizado além do centro de curvatura:
Imagem Real, invertida e Menor



OBJETO LOCALIZADO NO PONTO ANTIPRINCIPAL OBJETO (A)

- Imagem real, invertida e igual (do mesmo tamanho que o objeto).
- Localizada no ponto antiprincipal imagem (A').

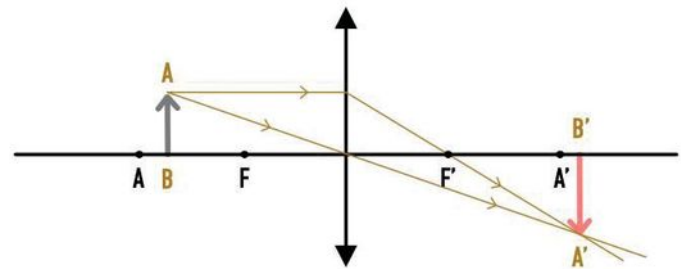
Objeto localizado sobre o centro de curvatura (2x distância focal)
Imagem Real, invertida e igual



OBJETO LOCALIZADO ENTRE O PONTO ANTIPRINCIPAL OBJETO (A) E O FOCO PRIMÁRIO (F)

- Imagem real, invertida e maior.
- Localizada além do ponto antiprincipal imagem (A').

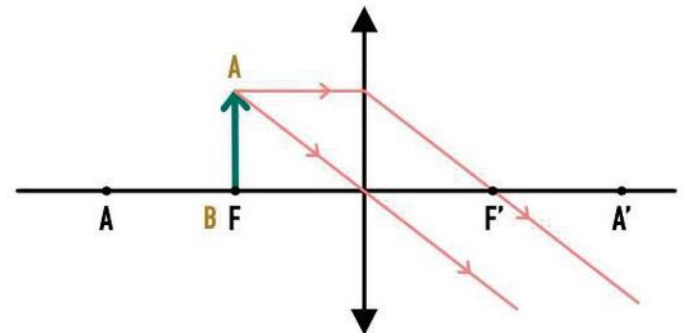
Objeto na frente da lente divergente:
Imagem Real, invertida e maior



OBJETO NO FOCO PRIMÁRIO (F)

- Imagem imprópria e localizada no infinito.

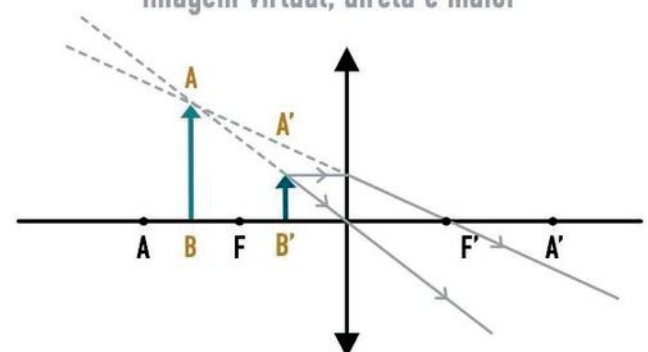
Objeto localizado sobre o foco primário:
Imagem Imprópria (no infinito)



OBJETO LOCALIZADO ENTRE O FOCO PRIMÁRIO (F) E A LENTE

- Imagem VIRTUAL, DIRETA e MAIOR.
- Neste caso, a vergência negativa do objeto é maior do que o poder da lente. Por isso, apesar da lente ser positiva, os raios irão divergir ao sair da lente e a mesma formará imagem virtual.

Objeto localizado entre o foco primário e o centro óptico:
Imagem Virtual, direta e maior



APRENDENDO COM QUESTÕES

CBO 2016

Para um objeto posicionado a 1 metro, qual lente formará uma imagem menor, direta e virtual?

- A) +1,00.
- B) +2,00.
- C) -2,00.
- D) Depende se a lente for positiva ou negativa.

Gabarito - C

Comentário: Não tem nem o que pensar galera! As lentes negativas SEMPRE formam imagens virtuais, diretas e menores, independentemente da posição do objeto.

CBO 2023

Um objeto posicionado a 5 cm em frente a lente convergente de 10 D, irá formar uma imagem:

- A) Real, invertida e com metade do tamanho
- B) Virtual, direta e com metade do tamanho
- C) Real, invertida e duas vezes maior
- D) Virtual, direta e duas vezes maior

Gabarito - B

Comentário: Para descobrirmos como será a imagem formada na situação descrita pela questão, devemos saber a posição do objeto em relação ao foco da lente.

Para calcularmos o foco utilizaremos $D=1/f$

$$10=1/f \Rightarrow f=0,1\text{m}=10\text{cm}$$

Ou seja, se o objeto está a 5cm de uma lente com foco a 10cm, ele está entre o foco e o vértice da lente.

Em lentes convergentes, sempre que um objeto estiver entre o foco e o vértice, a vergência negativa dos raios que saem do objeto é tão grande que supera o poder positivo da lente.

Apesar de a lente ser positiva, os raios saem divergindo, formando uma imagem VIRTUAL, DIRETA e MAIOR (D correta)

CBO 2024

Um objeto é colocado diante de uma lente convergente e sua imagem real é projetada em uma tela. Qual das alternativas abaixo reflete o que acontecerá com a imagem se um anteparo for encostado sobre a metade superior da lente?

- A) A imagem perderá contraste
- B) A imagem se deslocará superiormente
- C) Apenas a metade superior da imagem será projetada
- D) Apenas a metade inferior da imagem será projetada

Gabarito - A

Comentário: Ao aproximar um anteparo na metade superior de uma lente convergente, teríamos o bloqueio de alguns feixes luminosos, porém os feixes que estariam passando pela metade inferior da lente permitiriam que visualizássemos a imagem completa na tela.

Entretanto, tanto pela redução de feixes luminosos que chegarão à tela, quanto pelo fenômeno de difração sofrido pelos feixes que atingem a borda do anteparo, teremos um comprometimento da resolução da imagem projetada (perda de contraste - **alternativa "a" correta!**).

Para "deslocar" a imagem, teríamos que deslocar a lente - e gerar um efeito prismático (alternativa "b" incorreta).

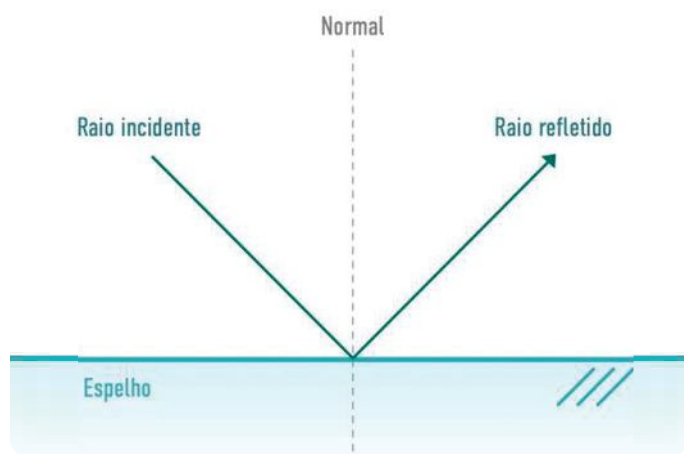
O "bloqueio" ou impossibilidade de observar parte do objeto na tela ocorreria se o anteparo fosse aproximado do próprio objeto ou da própria tela (alternativas "c" e "d" incorretas).

ESPELHOS PLANOS E ESFÉRICOS

ESPELHOS PLANOS

Leis da reflexão

- O raio incidente, a reta normal e o raio refletido estão no mesmo plano.
- O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (ambos são medidos em relação à normal).

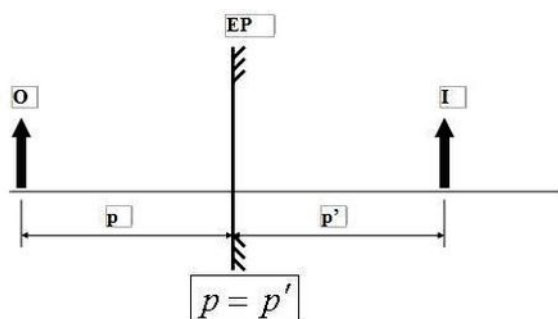


Imagens formadas por espelhos planos

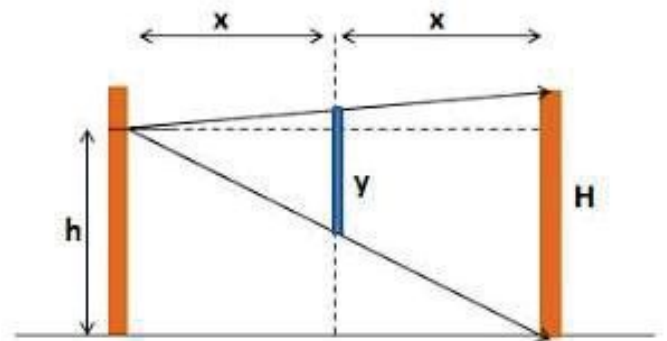
A imagem formada por um espelho plano é **SEMPRE**:

VIRTUAL, DIRETA E IGUAL

- Virtual - formada pelo prolongamento dos raios, localizada "atrás" do espelho.
- Direta - não invertida verticalmente.
- Igual - mesmo tamanho do objeto.
- A imagem encontra-se atrás do espelho, e sua distância até ele (p') **é a mesma distância do objeto (p)**.
- A vergência dos espelhos planos é zero: eles não adicionam vergência aos raios.



O espelho deve ter pelo menos metade da altura do objeto para que a imagem possa ser observada por inteiro. A explicação para isso está nos triângulos semelhantes formados entre o espelho, a imagem e as distâncias entre eles e o objeto.



Na ilustração, temos:

$$y/H = x/2x$$

$$y = H \cdot x/2x$$

$$y = H/2$$

APRENDENDO COM QUESTÕES

OFT-REVIEW

Uma mulher de 50 anos quer um novo par de óculos para usá-los enquanto faz maquiagem. Quanto de adição deve ser utilizada para que ela possa enxergar-se nitidamente quando está sentada a 50 cm na frente de um espelho plano?

Considere que a paciente não tem mais acomodação.

- A) +2,50.
- B) +0,50.
- C) +1,00.
- D) +2,00.

Gabarito - C

Comentário: Se a paciente se encontra a 50 cm do espelho plano, sua imagem forma-se 50 cm atrás deste. Dessa forma, a imagem fica a 100 cm da paciente.

Como a paciente não acomoda, utilizamos uma lente de +1,00 para que ela possa enxergar nitidamente.

OFT-REVIEW

Quanto acomoda um paciente que lê 20/20 em uma tabela de optotipos situada ao seu lado, através de um espelho plano situado a 1m de distância?

- A) +2,00.
- B) +3,00.
- C) +1,00.
- D) +0,50.

Gabarito - D

Comentário: Se o paciente e a tabela estão a 1m do espelho plano, a imagem forma-se a 1m atrás do espelho, logo a 2 m de distância do paciente. Para ler nitidamente o paciente precisa acomodar +0,50 D.

CBO 2024

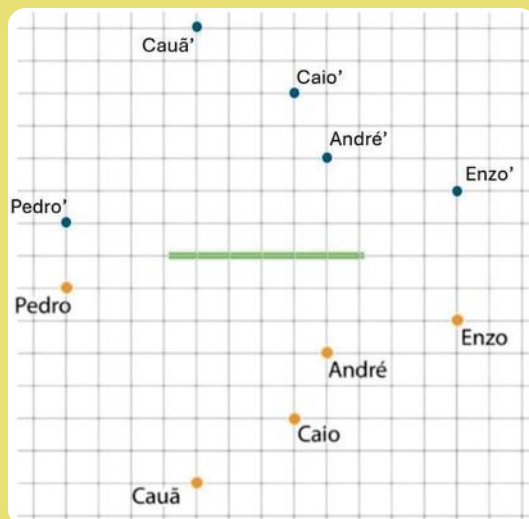
Considere o espelho plano (linha verde) em uma sala abaixo. Considerando a posição de cada um dos meninos, qual colega Enzo consegue enxergar refletido no espelho?



- A) Pedro
- B) Cauã
- C) Caio
- D) André

Gabarito - A

Comentário: Questão interessante sobre as leis da reflexão! O primeiro passo aqui é identificar onde as imagens estão projetadas. Como trata-se de um espelho plano, sabe-se que as imagens estão diametralmente opostas aos personagens em relação ao espelho:



Para compreender qual o campo de visão do Enzo, traçamos linhas retas passando pelas extremidades do espelho. Enzo consegue enxergar apenas as imagens que estão dentro deste campo:



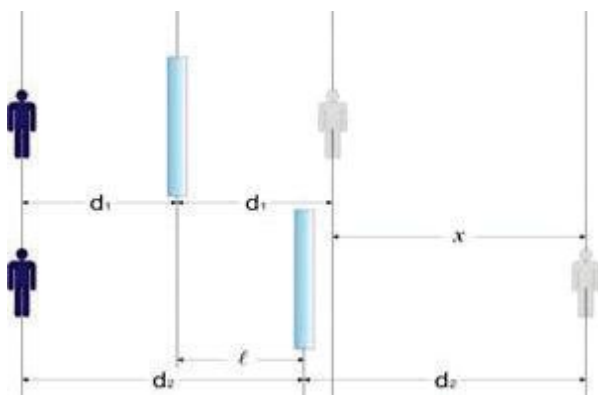
O único que está dentro do campo de visão é Pedro. Portanto, **resposta letra A!**

Deslocamento do espelho plano

Quando o espelho plano se afasta do objeto uma distância D , a imagem desloca-se o dobro da distância, isto é ($2 \times D$).

Como “velocidade = espaço/ tempo”, e os deslocamentos ocorrem no mesmo tempo, podemos dizer que **se o espaço percorrido pela imagem é 2 vezes maior, sua velocidade também é 2 vezes maior.**

Logo, a velocidade da imagem em relação ao objeto é duas vezes a velocidade do espelho em relação ao objeto.



APRENDENDO COM QUESTÕES

OFT-REVIEW

Um motorista, viajando a 50 km/hora, observa no espelho plano retrovisor a imagem de um poste na estrada. Qual a velocidade da imagem em relação ao poste?

- A) 50 km/hora.
- B) 100 km/hora.
- C) 200 km/hora.
- D) 120 km/hora.

Gabarito - B

Comentário: Como dissemos, no deslocamento de um espelho plano, a velocidade da imagem em relação ao objeto é igual ao dobro da velocidade do espelho, logo 100 km/h.

CBO 2017

Um motorista dirigindo a velocidade constante de 50 km/h observa uma árvore por um retrovisor de espelho plano.

Assinale a alternativa correta (considere a distância entre o motorista e o espelho irrelevante):

- A) A velocidade de deslocamento da imagem percebida pelo motorista é de 100 km/h.
- B) A velocidade de deslocamento da imagem percebida pelo motorista é de 25 km/h.
- C) A velocidade de deslocamento da imagem percebida pelo motorista é de 50 km/h.
- D) O motorista percebe o deslocamento da imagem com uma aceleração de 2 km/h.

Gabarito - C

Comentário: Galera, muita atenção para esta questão, que é uma pegadinha. Nós dissemos que a velocidade do deslocamento da imagem **em relação ao objeto** é o dobro da velocidade de deslocamento do espelho **em relação ao objeto**. Logo, se o espelho se desloca com velocidade de 50 km/hora, a imagem da árvore desloca-se com velocidade de 100 km/hora em relação **à árvore**. No entanto, as alternativas falam em velocidade de deslocamento da imagem percebida **pelo motorista**. O motorista desloca-se com velocidade de 50 km/hora, sem se afastar do espelho. Logo, a velocidade relativa da imagem em relação ao motorista será de 50 km/hora.

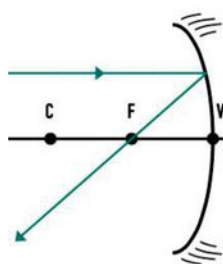
ESPELHOS ESFÉRICOS

Os espelhos esféricos comportam-se de modo semelhante às lentes esféricas. Os espelhos esféricos têm eixo principal, centro de curvatura, foco, raio e vértice. O raio corresponde à distância entre o vértice e o centro de curvatura. A distância focal do espelho corresponde à metade do raio.

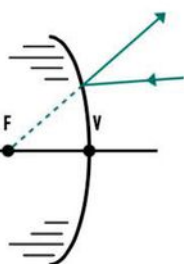
Propriedades dos raios luminosos

- Todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal do espelho é refletido em direção ao foco.

ESPELHO CÔNCAVO



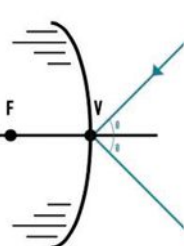
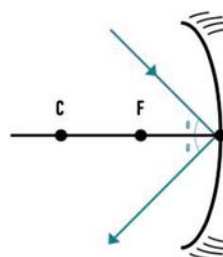
ESPELHO CONVEXO



ESPELHO CÔNCAVO

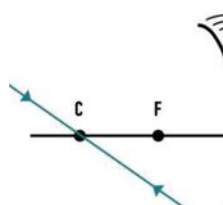
- Todo raio de luz que incide no vértice do espelho é refletido simetricamente em relação ao eixo principal.

ESPELHO CONVEXO

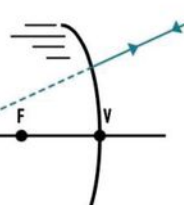


- Todo raio de luz que incide na direção do centro de curvatura é refletido sobre si mesmo.

ESPELHO CÔNCAVO



ESPELHO CONVEXO

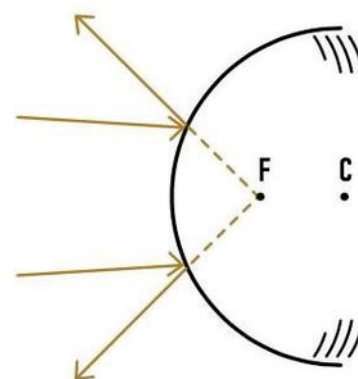


Espelhos convexos

Os espelhos convexos adicionam vergência negativa à luz, ou seja, causam divergência. O poder de um espelho convexo é medido em dioptrias negativas.

Assemelham-se, portanto, às lentes côncavas.

O poder de um espelho convexo é medido em dioptrias negativas



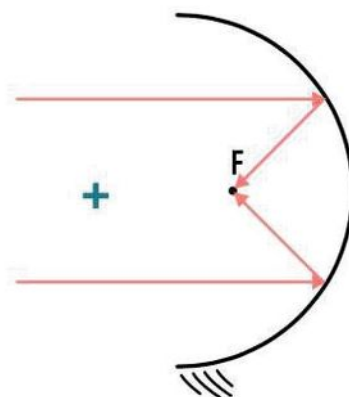
- Curiosidade: a córnea é um espelho convexo de cerca de -250 D.

Espelhos côncavos

Os espelhos côncavos adicionam vergência positiva à luz, ou seja, causam convergência. O poder de um espelho côncavo é medido em dioptrias positivas.

Assemelham-se, portanto, às lentes convexas.

O poder de um espelho côncavo é medido em dioptrias positivas



Poder de reflexão de um espelho esférico

O poder de reflexão de um espelho esférico, em dioptrias, é igual ao inverso do comprimento focal em metros.

$$P = 1/f (m)$$

Como o foco é igual à metade do raio de curvatura do espelho, o poder também pode ser expresso através da fórmula:

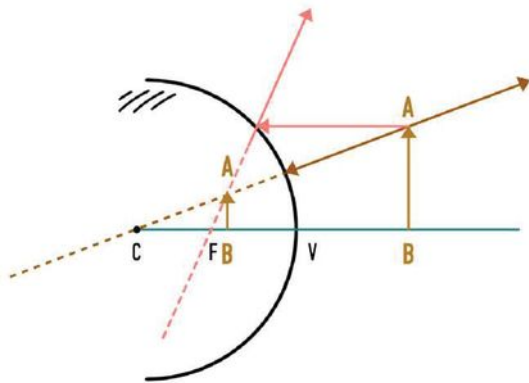
$$P = 2/r (m)$$

Exemplo: Considerando o raio de curvatura da superfície anterior da córnea como sendo de 8 mm, qual o poder de reflexão da superfície anterior? $P = 2/r(m)$ $P = 2/0,008$ $P = 250D$ Como a superfície é convexa, a vergência é negativa. Logo, $-250D$.

Formação da imagem em espelhos convexos

Os espelhos convexos são como as lentes côncavas. Sua imagem é **SEMPRE**:

- **VIRTUAL, DIRETA E MENOR.**
- **Localizada "atrás do espelho".**
- Exemplos de espelhos convexos: espelho retrovisor, superfície anterior da córnea.

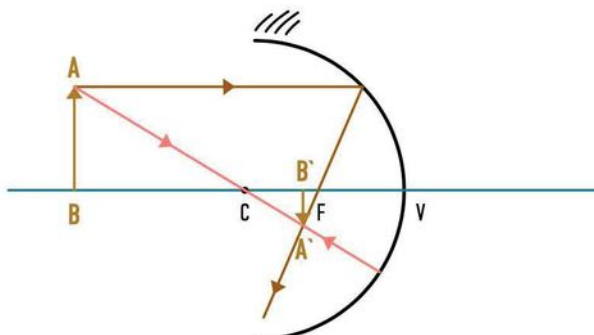


Formação da imagem em espelhos côncavos

Os espelhos côncavos são como as lentes convexas. As possibilidades de formação da imagem são:

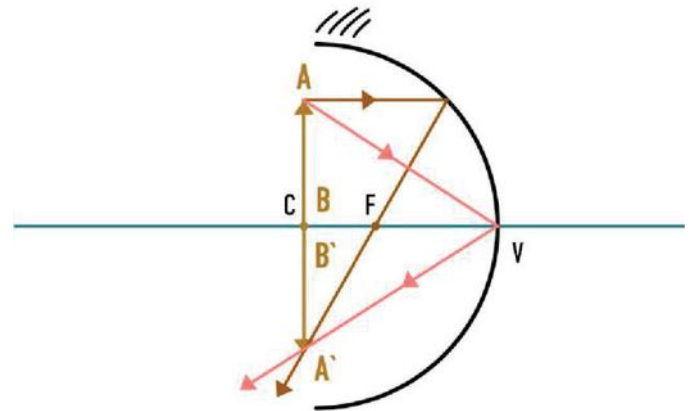
OBJETO LOCALIZADO ANTES (À ESQUERDA) DO CENTRO DE CURVATURA DO ESPELHO

- **Imagem real, invertida e menor.**
- Localizada entre o centro de curvatura e o foco.



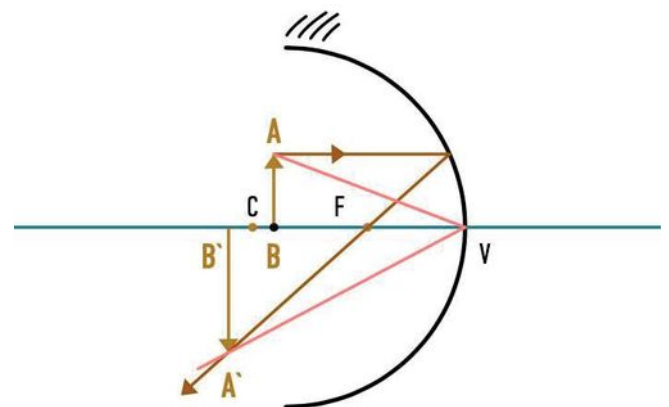
OBJETO LOCALIZADO SOBRE O CENTRO DE CURVATURA DO ESPELHO

- **Imagem real, invertida e igual.**
- Localizada no centro de curvatura do espelho.



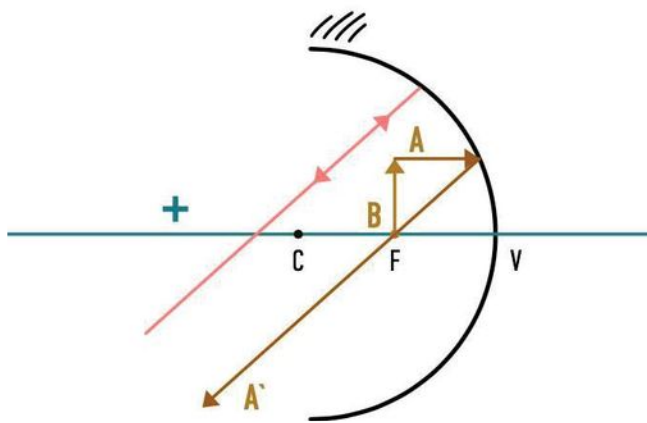
OBJETO LOCALIZADO ENTRE O CENTRO DE CURVATURA E O FOCO DO ESPELHO

- **Imagem real, invertida e maior.**
- Localizada além do centro de curvatura do espelho.



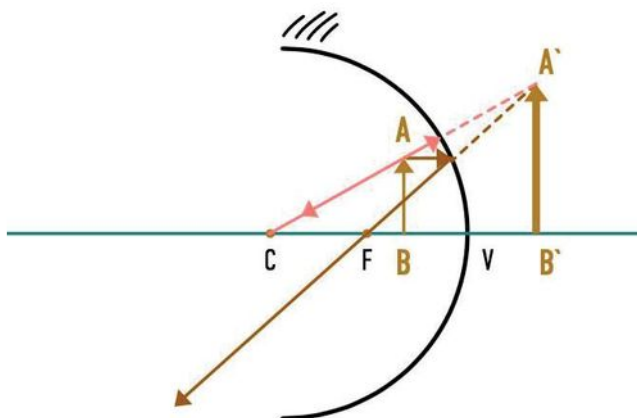
OBJETO LOCALIZADO NO FOCO DO ESPELHO

- **Imagem imprópria, localizada no infinito.**



OBJETO LOCALIZADO ENTRE O FOCO E O VÉRTICE DO ESPELHO

- Imagem virtual, direta e maior.
- Localizada "atrás do espelho".
- Exemplos: espelhos para maquiagem ou para barbear, espelhos de dentista.



APRENDENDO COM QUESTÕES

OFT-REVIEW

Um objeto está colocado a 33 cm na frente de um olho. A imagem formada pela reflexão da superfície anterior da córnea, que tem raio de curvatura de 8 mm, está localizada:

- 3,95 mm na frente da córnea.
- 3,95 mm atrás da córnea.
- 4,50 mm na frente da córnea.
- 4,50 mm atrás da córnea.

Gabarito - B

Comentário: Primeiramente, lembremos a fórmula para calcular o poder da córnea como espelho convexo:

$$P = 2/r(m)$$

$$P = 2/0,008$$

$P = 250 D$ (-250 D, pois trata-se de espelho convexo).

Agora vamos localizar a imagem. Como o objeto localiza-se a 33 cm da córnea, seus raios chegam à córnea com vergência de -3. Pela fórmula da vergência, temos:

$$V = U + D$$

$$V = -3 - 250 = -253 D$$

Agora, vamos calcular onde a imagem será focada, pela fórmula $D = 1/f$

$$-253 = 1/f$$

$$f = 0,00395 m = -3,95 mm.$$

Como os espelhos convexos só formam imagens virtuais, diretas e menores, a imagem encontra-se 3,95 mm atrás da córnea.

CBO 2018

Em relação à imagem de um objeto localizado entre o centro de curvatura e o foco principal de um espelho côncavo, assinale a alternativa correta:

- É maior e invertida.
- É maior e virtual.
- É menor e direta.
- É menor e invertida.

Gabarito - A

Comentário: Quando um objeto está localizado entre o centro de curvatura e o foco de um espelho côncavo, a imagem formada é real, invertida e maior. A mesma localiza-se além do centro de curvatura do espelho.

CBO 2018

Um espelho côncavo produz uma imagem de mesmo tamanho que um objeto situado a 20 cm de distância. A que distância do espelho temos que colocar o objeto para sua imagem formar-se no infinito?

- A) 5 cm.
- B) 10 cm.
- C) 20 cm.
- D) 40 cm.

Gabarito - B

Comentário: Os espelhos côncavos formam imagens reais, invertidas e iguais (mesmo tamanho) quando o objeto se encontra sobre o centro de curvatura do espelho.

Sabemos que o foco corresponde à metade do raio de curvatura; logo, o foco do espelho encontra-se a 10 cm do vértice. Quando um objeto é colocado no foco, sua imagem é formada no infinito.

CBO 2022

Assinale a alternativa que corresponde a uma reflexão de um espelho convexo.

- A) Ceratoscopia com disco de Plácido.
- B) Espelho de barbear.
- C) Espelho do dentista.
- D) Farol refletor.

Gabarito - A

Comentário: A ceratoscopia por discos de plácido nada mais é do que a reflexão dos anéis de plácido na superfície anterior da córnea, que funciona como um espelho convexo. O espelho de barbear e o do dentista são magnificadores da imagem, para isso devem ser espelhos côncavos; nestes, quando o objeto se encontra entre o foco e o vértice, a imagem formada será VIRTUAL, DIREITA E MAIOR. Já nos faróis refletores, precisamos de uma imagem formada no infinito, para isso também utilizaremos espelhos côncavos ou lentes convexas e posicionaremos o objeto sobre o foco.

SEÇÃO 4

ABERRAÇÕES ÓPTICAS

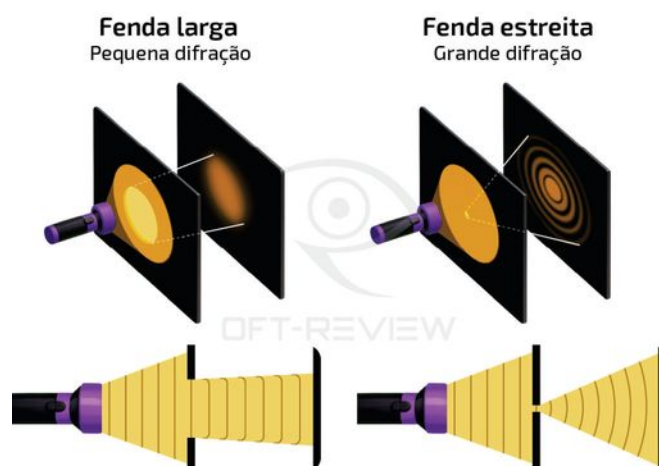
A imagem de um ponto objeto formada por um sistema óptico deveria idealmente ser um ponto imagem. Entretanto, existem aberrações ópticas que impedem que isso ocorra, o que causa perda de nitidez e deformações da imagem.

ABERRAÇÕES NATURAIS

Difração

Ao atravessar um orifício, a luz comporta-se como se estivesse originando-se deste orifício, formando um círculo de difusão. Trata-se de aberração inerente à natureza ondulatória da luz.

Quanto maior o comprimento de onda da luz, maior a difração.

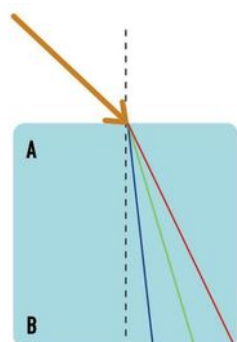


Aberração cromática

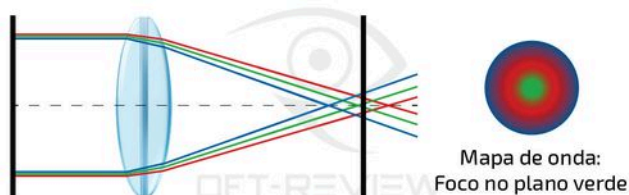
Quando a luz branca atravessa um dióptro obliquamente, seus diferentes componentes sofrem refração de uma forma diferente.

- Quanto maior o comprimento de onda, menor o índice de refração e maior a velocidade da luz.
- Ao passar de um meio menos refringente para um mais refringente, a luz violeta aproxima-se mais da normal e a vermelha aproxima-se menos.

- Ao passar de um meio mais refringente para um menos refringente, a luz violeta afasta-se mais da normal e a vermelha afasta-se menos.



Aberração cromática



ABERRAÇÕES MONOCROMÁTICAS

Aberração esférica

Aberração esférica

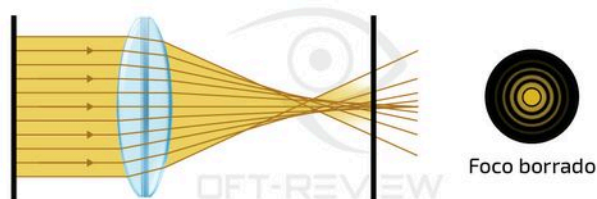


FIGURA 1. Aberração esférica. Fonte: Ilustração original Oft-Review.

A aberração esférica pode ocorrer na córnea, nas lentes e nos espelhos. **Quando os raios de curvatura das zonas apical e periférica são iguais, os raios da periferia convergem mais que os raios centrais.** Desta forma, a aberração esférica é responsável pela formação de múltiplos pontos focais, que, embora causem perda de nitidez, aumentam a profundidade de foco. Já havíamos visto este conceito quando falamos das lentes intraoculares esféricas.

A aberração esférica é uma aberração de alta ordem (4ª ordem) e piora com o aumento do diâmetro pupilar.

- **Córnea prolada** - o raio de curvatura da periferia é maior (periferia mais plana) do que o raio de curvatura da zona apical. Isto reduz a aberração esférica positiva da córnea. A maioria das córneas normais tem este formato.
- **Córnea oblada** - o raio de curvatura periférico é menor que o raio de curvatura apical (a córnea é mais plana no centro). Neste caso há aumento da aberração esférica positiva da córnea. O exemplo mais comum é a córnea após ablação miópica.

Coma

Aberração do tipo coma

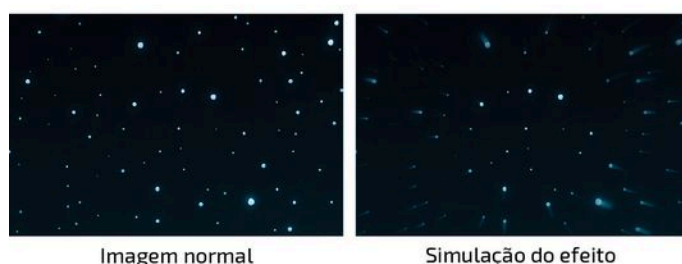
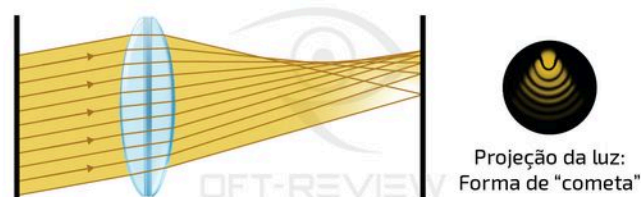


FIGURA 2. Aberração tipo coma. Fonte: Ilustração original Oft-Review.

A aberração tipo coma recebe este nome pois a imagem de um ponto lembra a forma de um cometa. Esta aberração ocorre pela posição do objeto fora do eixo óptico principal da lente,

sistema de lentes ou espelho ou à inclinação da lente em relação ao eixo visual.

Pacientes com ceratocone apresentam aumento das aberrações de alta ordem, especialmente coma.

Astigmatismo

A aberração astigmática, assim como o coma, decorre do posicionamento do ponto objeto fora do eixo principal da lente ou espelho, isto é, devido à obliquidade dos raios.

A principal diferença é que a aberração tipo coma é considerada em um plano único e a aberração astigmática é considerada em um plano tridimensional.

ABERRAÇÕES DE FORMATO

Para essas aberrações, não são considerados pontos, mas sim linhas (unidimensionais) ou superfície bidimensionais.

Curvatura de campo

Uma lente esférica forma uma imagem curva de uma superfície plana, sendo esta aberração chamada curvatura de campo. Trata-se de uma aberração desejável, pois é compensada pela curvatura da retina.

Distorção

A distorção ocorre pela assimetria que existe entre os diferentes pontos do objeto e as lentes: cada ponto do objeto apresenta uma distância diferente em relação à lente, o que acaba distorcendo a imagem.

- **Distorção tipo contração ou em barril** - Linhas retas tornam-se côncavas e reduzidas relativamente ao centro da imagem. Associada a lentes negativas de alto poder.
- **Distorção em expansão ou em crescente ou em almofada** - Linhas retas tornam-se convexas e aumentadas em relação ao centro da imagem. Associada a lentes positivas de alto poder.



APRENDENDO COM QUESTÕES

CBO 2014

Qual das aberrações é considerada de baixa ordem?

- A) Hipermetropia.
- B) Trifoil.
- C) Coma.
- D) Aberração esférica.

Gabarito - A

Comentário: Esta questão foi colocada de propósito, para introduzir a classificação das aberrações de acordo com os polinômios de Zernike, a seguir:

Aberrações de baixa ordem (2ª ordem):

Representam 85% das aberrações oculares. São corrigidas com lentes esféricas, esferocilíndricas, lentes de contato ou cirurgia refrativa convencional.

- **Defocus - miopia/hipermetropia.**
- **Astigmatismo regular.**

Aberrações de alta ordem

Não são corrigidas por óculos ou lentes de contato. As cirurgias refrativas personalizadas podem corrigi-las.

➤ 3ª ordem:

- **Coma.**
- **Trifoil.**

➤ 4ª ordem:

- Aberração esférica.
- Tetrafoil.

CBO 2021

Qual aberração óptica que, apesar de diminuir a nitidez, pode trazer como benefício uma maior amplitude de foco?

- A) Geométrica do tipo esférica
- B) Natural do tipo cromática
- C) Geométrica do tipo distorção em barrilete.
- D) Geométrica do tipo cromática.

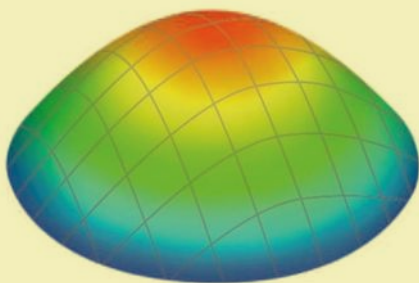
Gabarito - A

Comentário: A aberração esférica pode ocorrer na córnea, nas lentes e nos espelhos. Quando os raios de curvatura das zonas apical e periférica são iguais, os raios da periferia convergem mais que os raios centrais. Desta forma, a aberração esférica é responsável pela formação de múltiplos pontos focais, que, embora causem perda de nitidez, aumentam a profundidade de foco.

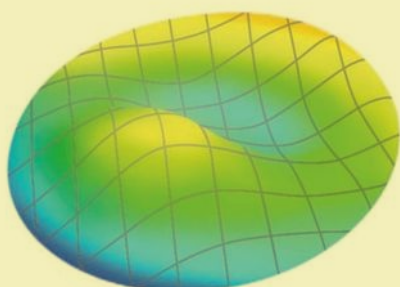
CBO 2025

Qual das figuras abaixo melhor representa a aberração coma?

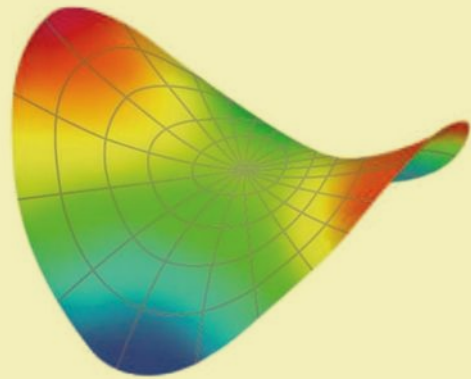
A)



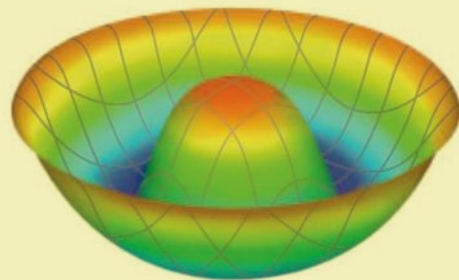
B)



C)



D)



Gabarito - B

Comentário: Questão incomum, mas com imagens retiradas da coleção da AAO, na parte de Cirurgia Refrativa, que representam tridimensionalmente algumas das aberrações ópticas do polinômio de Zernike. Vamos aproveitar para revisar:

A – Incorreta. Essa é a representação do defocus.

B – Correta!

C – Incorreta. Essa é a representação do astigmatismo.

D – Incorreta. Essa é a representação da aberração esférica.

Med-Review Educação Médica Refração, VSN e Lentes de Contato Refrativa

Belo Horizonte - MG: Med-Review Educação Médica, 2026

© 2026 Med-Review Educação Médica
Todos os direitos reservados.

Nenhuma parte dessa obra poderá ser reproduzida, armazenada em sistema de recuperação ou transmitida por qualquer meio - eletrônico, mecânico, fotocópia, gravação ou outro - sem autorização prévia e por escrito do editor.

ISBN 978-65-84158-30-6

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

M488r Med-Review Educação Médica.
Refração e VSN lentes de contato refrativa / Med-Review
Educação Médica. – 1. ed. – Belo Horizonte, MG:
Med-Review, 2026.
il. color. ; 16 x 23 cm.

1. Refração ocular – Diagnóstico e correção. 2. Lentes de
contato. 3. Cirurgia refrativa. 4. Oftalmologia. I. Título.

CDD 617.735

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422