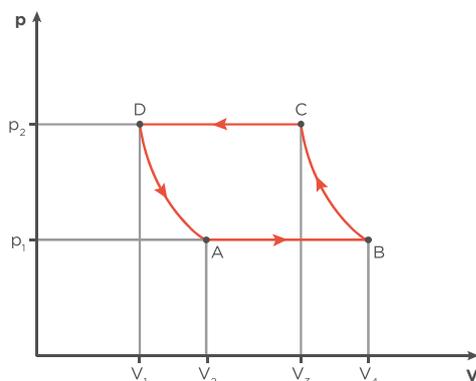


A figura abaixo mostra o diagrama $p \times V$ de uma máquina frigorífica genérica.



8. Eficiência de uma máquina frigorífica

A eficiência e de uma máquina frigorífica é a relação entre a quantidade de calor retirada da fonte fria Q_{rec} e o trabalho externo τ necessário para essa transferência.

$$e = \frac{Q_{\text{rec}}}{|\tau_{\text{ciclo}}|}$$

Diferentemente do rendimento de uma máquina térmica, a eficiência de uma máquina frigorífica pode ser maior do que 1.

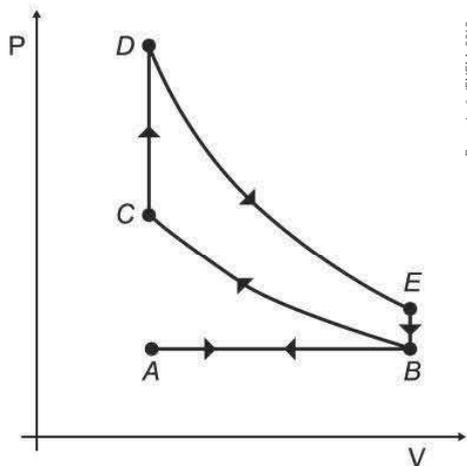
EM CLASSE DESENVOLVENDO HABILIDADES

Indique a soma das alternativas corretas

- (UEPG-PR) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for correto.
- (01) Máquinas térmicas são dispositivos que convertem parte da energia térmica recebida em trabalho mecânico.
 - (02) O motor a combustão de um automóvel é um exemplo de máquina térmica.
 - (04) De acordo com a primeira lei da Termodinâmica, o calor adicionado a um sistema é numericamente igual à variação da energia interna do sistema mais o trabalho externo realizado pelo sistema.
 - (08) As máquinas térmicas mais eficientes transformam todo o calor recebido de um reservatório quente em trabalho mecânico.
 - (16) O rendimento de uma máquina térmica é numericamente igual à razão entre a temperatura da fonte quente pela temperatura da fonte fria.
- (01) Correto. Trata-se da definição de uma máquina térmica.
 (02) Correto. O motor a combustão transforma parte da energia térmica proveniente da combustão do combustível em energia de rotação.
 (04) Correto. De acordo com a 1ª lei da Termodinâmica: $Q = \Delta U + \tau$, que pode ser interpretado da seguinte forma: se adicionarmos energia térmica ao sistema por meio de uma troca de calor (Q), uma parcela é transformada em energia mecânica (τ) e o restante fica armazenado no sistema (ΔU).
 (08) Incorreto. Não existe máquina térmica que transforme integralmente a energia térmica recebida em trabalho.
 (16) Incorreto. O rendimento de uma máquina térmica é igual à razão entre o trabalho útil obtido no ciclo e a quantidade de energia térmica total recebida pelo sistema.

Resposta: 01 + 02 + 04 = 07

- (Enem) O motor de combustão interna, utilizado no transporte de pessoas e cargas, é uma máquina térmica cujo ciclo consiste em quatro etapas: admissão, compressão, explosão/expansão e escape. Essas etapas estão representadas no diagrama da pressão em função do volume. Nos motores a gasolina, a mistura ar/combustível entra em combustão por uma centelha elétrica.



Reprodução/ENEM, 2016

Para o motor descrito, em qual ponto do ciclo é produzida a centelha elétrica?

- a) A
b) B
▶ c) C
d) D
e) E

No ciclo mostrado na figura temos os seguintes processos:

A → B: admissão de combustível.

B → C: compressão adiabática.

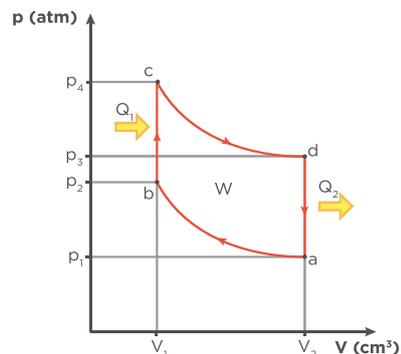
C → D: explosão, provocada por uma centelha elétrica produzida no ponto C do ciclo, com elevação de temperatura em um processo isovolumétrico (duração de tempo muito curta).

D → E: expansão adiabática.

E → B: abertura da válvula de saída. Queda de pressão.

B → A: expulsão dos gases residuais de combustão.

- (UEL-PR) Considere o diagrama $p \times V$ da figura a seguir.



O ciclo fechado ao longo do percurso $abcda$ é denominado ciclo Otto e representa o modelo idealizado dos processos termodinâmicos que ocorrem durante o funcionamento de um motor a gasolina. O calor recebido pelo motor, dado por Q_1 , é fornecido pela queima da gasolina no interior do motor. W representa o trabalho realizado pelo motor em cada ciclo de operação, e Q_2 é o calor rejeitado pelo motor, por meio da liberação dos gases de exaustão pelo escapamento e também via sistema de arrefecimento.

Considerando um motor que recebe 2500 J de calor e que realiza 875 J de trabalho em cada ciclo de operação, responda aos itens a seguir.

- a) Sabendo que o calor latente de vaporização da gasolina vale $5 \cdot 10^4$ J/g, determine a massa de gasolina utilizada em cada ciclo de operação do motor.

Vamos admitir que todo o calor recebido pelo motor foi utilizado na vaporização da gasolina. Assim:

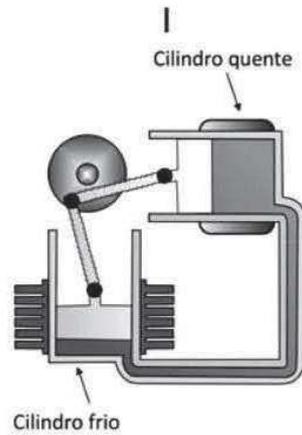
$$Q = mL \Rightarrow 2500 = m \cdot 5 \cdot 10^4 \therefore m = 0,05 \text{ g}$$

- b) Sabendo que, em um ciclo termodinâmico fechado, a soma das quantidades de calor envolvidas no processo é igual ao trabalho realizado no ciclo, determine a quantidade de calor rejeitada durante cada ciclo de operação do motor.

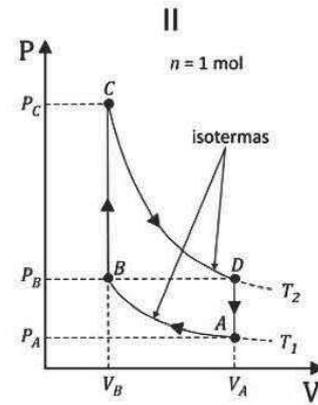
Considerando o fluxo de energia em uma máquina térmica, podemos escrever:

$$Q_{\text{rec}} - |Q_{\text{ced}}| = \tau_{\text{ciclo}} \Rightarrow 2500 - |Q_{\text{ced}}| = 875 \therefore |Q_{\text{ced}}| = 1625 \text{ J}$$

- (Fuvest-SP) O motor Stirling, uma máquina térmica de alto rendimento, é considerado um motor ecológico, pois pode funcionar com diversas fontes energéticas. A figura I mostra esquematicamente um motor Stirling com dois cilindros. O ciclo termodinâmico de Stirling, mostrado na figura II, representa o processo em que o combustível é queimado externamente para aquecer um dos dois cilindros do motor, sendo que uma quantidade fixa de gás inerte se move entre eles, expandindo-se e contraindo-se.



Reprodução/FUVEST, 2018



Reprodução/FUVEST, 2018

Nessa figura está representado um ciclo de Stirling no diagrama $P \times V$ para um mol de gás ideal monoatômico. No estado A, a pressão é $P_A = 4 \text{ atm}$, a temperatura é $T_1 = 27^\circ\text{C}$ e o volume é V_A . A partir do estado A, o gás é comprimido isotermicamente até um terço do volume inicial, atingindo o estado B. Na isoterma T_1 , a quantidade de calor trocada é $Q_1 = 2,640 \text{ J}$, e, na isoterma T_2 , é $Q_2 = 7910 \text{ J}$.

Note e adote:

- Calor específico a volume constante: $C_v = \frac{3R}{2}$
- Constante universal dos gases: $R = 8 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 0,08 \text{ atm L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
- $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$
- $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$
- $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$

Determine

- a) o volume V_A , em litros;

Pela equação de Clapeyron, temos:

$$P_A \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A \Rightarrow 4 \cdot V_A = 1 \cdot 0,08 \cdot 300 \therefore V_A = 6 \text{ L}$$

- b) a pressão P_D , em atm, no estado D;

Do enunciado sabemos que $V_B = \frac{V_A}{3}$ e $T_A = T_B$; assim, comparando os estados A e B, temos:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B} \Rightarrow 4 \cdot 6 = P_B \cdot \frac{6}{3} \therefore P_B = 12 \text{ atm}$$

Do gráfico podemos observar que $P_B = P_D \therefore P_D = 12 \text{ atm}$

- c) a temperatura T_2 .

Entre os estados A e D, em que $V_A = V_D$, temos:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_D \cdot V_D}{T_D} \Rightarrow \frac{4}{300} = \frac{12}{T_D} \therefore T_D = T_2 = 900 \text{ K}$$

d) Na isotérmica T_1 , de A para B, o gás foi submetido a uma compressão (recebimento de energia mecânica) sob temperatura constante. Para tal, ele deve ter cedido energia térmica (calor) ao meio. Logo, $Q_1 = Q_{ced} = 2640 \text{ J}$.
 Na isotérmica T_2 , de C para D, o gás foi submetido a uma expansão (cede energia mecânica) a temperatura constante. Para tal, ele deve ter recebido energia térmica (calor) do meio. Logo, $Q_2 = Q_{rec} = 7910 \text{ J}$.

Considerando apenas as transformações em que o gás recebe calor, determine

d) a quantidade total de calor recebido em um ciclo, Q_R , em J.

Nas transformações de B para C e de D para A, as variações de temperatura, em módulo, são iguais. Como são transformações isométricas, $Q = n \cdot C_V \cdot \Delta T$, obtemos $|Q_{BC}| = |Q_{DA}|$. Como $T_B > T_C$, na transformação de B para C, o gás recebeu calor, dado por:

$$Q_{B \rightarrow C} = n \cdot C_V \cdot \Delta T \Rightarrow Q_{B \rightarrow C} = n \cdot \frac{3R}{2} \cdot \Delta T \Rightarrow Q_{B \rightarrow C} = 1 \cdot 12 \cdot (900 - 300) \therefore Q_{B \rightarrow C} = 7200 \text{ J}$$

Dessa forma, o gás recebe calor nas transformações B \rightarrow C e C \rightarrow D.

Assim, a quantidade de calor recebido pelo gás no ciclo é:

$$Q_R = Q_{B \rightarrow C} + Q_{C \rightarrow D} \Rightarrow Q_R = 7910 + 7200 \therefore Q_R = 15110 \text{ J}$$

Indique a soma das alternativas corretas

--- (UEPG-PR) Um refrigerador é uma máquina termodinâmica que possibilita a conservação dos alimentos por intervalos maiores de tempo. Considerando um refrigerador com coeficiente de desempenho (eficiência) igual a 5, assinale o que for correto.

(01) A potência de operação do refrigerador trabalhando a 60 ciclos/s, para retirar 100 J por ciclo do reservatório frio é igual a 1200 W.

(02) Em cada ciclo, o refrigerador rejeita 120 J para o meio ambiente.

(04) A cada 24 horas de operação, o refrigerador em questão consome 72 kWh de energia elétrica.

(08) Pode-se utilizar um refrigerador para resfriar uma sala, mantendo a porta do refrigerador aberta.

(01) Correta.

Da definição de eficiência, temos:

$$e = \frac{Q_{rec}}{\tau_{ciclo}} \Rightarrow 5 = \frac{100}{\tau_{ciclo}} \therefore \tau_{ciclo} = 20 \text{ J}$$

Como são 60 ciclos por segundo, da definição de potência, temos:

$$\mathcal{P} = \frac{\tau_{Total}}{\Delta t} \Rightarrow \mathcal{P} = \frac{(60 \cdot 20) \text{ J}}{1 \text{ s}} \therefore \mathcal{P} = 1200 \text{ W}$$

(02) Correta.

De acordo com o fluxo de energia de uma máquina frigorífica, temos:

$$Q_{ced} = Q_{rec} + \tau_{ciclo}$$

Assim, a cada ciclo, obtemos:

$$Q_{ced} = 100 + 20 = 120 \text{ J}$$

(04) Incorreta.

A quantidade de energia, em kWh, consumida é:

$$\Delta E = \mathcal{P} \cdot \Delta t = 1,2 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} = 28,8 \text{ kWh}$$

(08) Incorreta.

Um refrigerador transfere mais calor ao ambiente do que retira da fonte fria ($Q_{ced} = Q_{rec} + \tau_{ciclo}$)

Resposta: 01 + 02 = 03.

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

Aula 17

- Leia os itens 1 a 6 da seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 1 a 3 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

Aula 18

- Leia os itens 7 e 8 da seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 7 e 8 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

Aula 17

- Leia os itens 1 a 4 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

- Faça as questões 4 a 6 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

Aula 18

- Leia o item 6 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 9 a 12 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

Aula 17

- Faça as questões 13 e 14 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

Aula 18

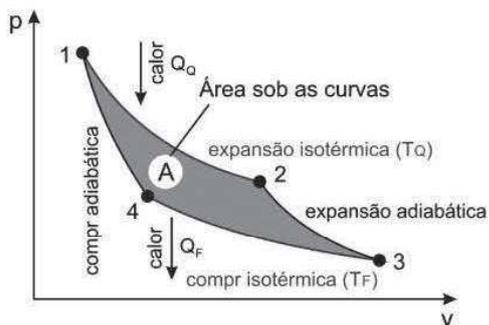
- Faça as questões 15 e 16 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.



RETOMAR E PROSSEGUIR

Na próxima aula, vamos estudar ciclo de Carnot. Acesse nosso vídeo para se preparar para o assunto.

1 (PUC-PR) O físico e engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), em seu trabalho *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*, concluiu que as máquinas térmicas ideais podem atingir um rendimento máximo por meio de uma sequência específica de transformações gasosas que resultam num ciclo - denominado de ciclo de Carnot, conforme ilustra a figura a seguir.



Fonte: <http://www.mspc.eng.br/termo/img01/termod307.gif>. [adaptado]

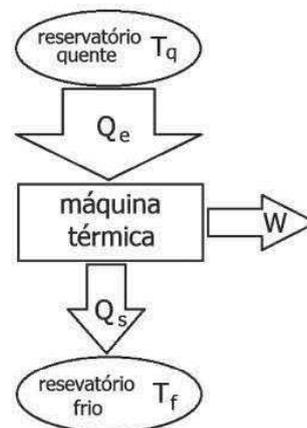
A partir das informações do ciclo de Carnot sobre uma massa de gás, conforme mostrado no gráfico $p \times V$, analise as alternativas a seguir.

- I. Ao iniciar o ciclo (expansão isotérmica $1 \rightarrow 2$), a variação de energia interna do gás é igual a Q_q e o trabalho é positivo ($W > 0$).
- II. Na segunda etapa do ciclo (expansão adiabática $2 \rightarrow 3$) não há troca de calor, embora o gás sofra um resfriamento, pois $\Delta U = -W$.
- III. Na compressão adiabática $4 \rightarrow 1$, última etapa do ciclo, o trabalho realizado sobre o gás corresponde à variação de energia interna dessa etapa e há um aquecimento, ou seja, $\Delta U = +W$.
- IV. O trabalho útil realizado pela máquina térmica no ciclo de Carnot é igual à área A ou, de outro modo, dado por: $\tau = Q_q - Q_f$.
- V. O rendimento da máquina térmica ideal pode atingir até 100%, pois o calor Q_f pode ser nulo - o que não contraria a segunda lei da Termodinâmica.

Estão **CORRETAS** apenas as alternativas:

- | | |
|--------------------|--|
| a) I, II e IV. | I. Falsa - em um processo isotérmico, a energia interna é constante e, portanto, sua variação é nula ($\Delta U = 0$). |
| b) I, II e III. | II. Verdadeira. |
| ▶ c) II, III e IV. | III. Verdadeira. |
| d) II, III e V. | IV. Verdadeira. |
| e) III, IV e V. | V. Falsa - a segunda lei da Termodinâmica diz que é impossível construir uma máquina que obedeça ao ciclo de Carnot com um rendimento de 100%, visto que é impossível converter o calor de forma integral em trabalho. |

2 (UFRGS-RS) Uma máquina térmica, representada na figura abaixo, opera na sua máxima eficiência, extraindo calor de um reservatório em temperatura $T_q = 527^\circ\text{C}$, e liberando calor para um reservatório em temperatura $T_f = 327^\circ\text{C}$.



Reprodução/UFRGS, 2016

Para realizar um trabalho (W) de 600 J, o calor absorvido deve ser de

- ▶ a) 2400 J
- b) 1800 J
- c) 1581 J
- d) 967 J
- e) 800 J

O rendimento de uma máquina térmica ideal, que opera com o máximo de rendimento (Carnot) é dado por:

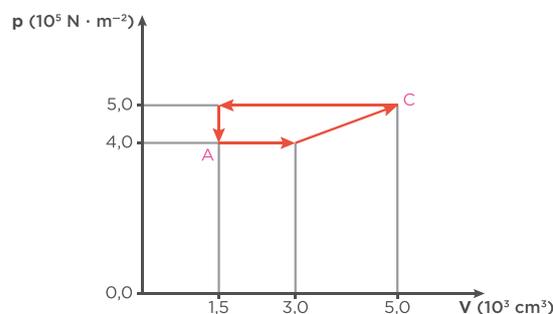
$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{327 + 273}{527 + 273} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{600}{800}$$

$$\therefore \eta = 0,25 \text{ ou } 25\%$$

O rendimento relaciona o trabalho e a quantidade de calor extraída da fonte quente, assim:

$$\eta = \frac{\tau}{Q_q} \Rightarrow 0,25 = \frac{600}{Q_q} \therefore Q_q = 2400 \text{ J}$$

3 (PUC-SP) O diagrama abaixo mostra um ciclo realizado por 1 mol de um gás monoatômico ideal.



Determine, em porcentagem, o rendimento de uma máquina de Carnot que operasse entre as mesmas fontes térmicas desse ciclo.

- a) 24
- b) 35
- c) 65
- ▶ d) 76

Dado:

Constante universal dos gases ideais:

$$R = 8,0 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Como a temperatura absoluta de um gás é diretamente proporcional ao produto $p \cdot V$, a temperatura mínima ocorre em A e a temperatura máxima ocorre em C, que são as temperaturas das fontes fria e quente, respectivamente.

A razão entre essas temperaturas é:

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_C V_C}{T_C} \Rightarrow \frac{4 \cdot 1,5}{T_A} = \frac{5 \cdot 5}{T_C} \Rightarrow \frac{T_A}{T_C} = \frac{6}{25}$$

Assim, o rendimento de uma máquina de Carnot, operando entre esta fonte quente e esta fonte fria, é dada por:

$$\eta = 1 - \frac{T_A}{T_C} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{6}{25} \Rightarrow \eta = 1 - 0,24 \therefore \eta = 0,76 \text{ ou } 76\%$$

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

- Leia a seção *Nesta aula*.
- Faça as questões 17 a 19 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

- Leia o item 5 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

- Faça as questões 20 e 21 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

- Faça as questões 22 e 23 do capítulo 8 de *Termodinâmica do Caderno de Estudos*.

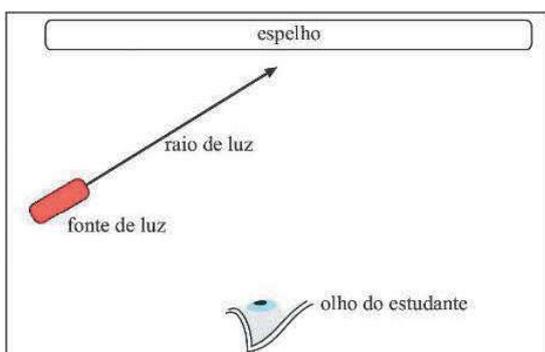
RETOMAR E PROSSEGUIR

Na próxima aula, vamos estudar os conceitos básicos de Óptica geométrica e, para isso, é importante retomar os casos particulares de semelhança de triângulos. Acesse nosso vídeo para relembrar o assunto.

EXTRAS!

- (Unicamp-SP) Com a instalação do gasoduto Brasil-Bolívia, a quota de participação do gás natural na geração de energia elétrica no Brasil será significativamente ampliada. Ao se queimar 1,0 kg de gás natural obtém-se $5,0 \cdot 10^7 \text{ J}$ de calor, parte do qual pode ser convertido em trabalho em uma usina termoelétrica. Considere uma usina queimando 7200 quilogramas de gás natural por hora, a uma temperatura de 1227 °C. O calor não aproveitado na produção de trabalho é cedido para um rio de vazão 5000 L/s, cujas águas estão inicialmente a 27 °C. A maior eficiência teórica da conversão de calor em trabalho é dada por $\eta = 1 - \frac{T_{\text{mín}}}{T_{\text{máx}}}$, sendo $T_{\text{mín}}$ e $T_{\text{máx}}$ as temperaturas absolutas das fontes quente e fria respectivamente, ambas expressas em Kelvin. Considere o calor específico da água $c = 4000 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$.
 - a) Determine a potência gerada por uma usina cuja eficiência é metade da máxima teórica.
 - b) Determine o aumento de temperatura da água do rio ao passar pela usina.
- (UFPR) Uma máquina térmica teórica ideal teve um dimensionamento tal que, a cada ciclo, ela realizaria trabalho de 50 cal e cederia 150 cal para a fonte fria. A temperatura prevista para a fonte quente seria de 127 °C. Determine:
 - a) O rendimento dessa máquina térmica.
 - b) A temperatura prevista para a fonte fria, em graus Celsius.

- (Unesp) Um professor de física propôs aos seus alunos que idealizassem uma experiência relativa ao fenômeno luminoso. Pediu para que eles se imaginassem numa sala completamente escura, sem qualquer material em suspensão no ar e cujas paredes foram pintadas com uma tinta preta ideal, capaz de absorver toda a luz que incidisse sobre ela. Em uma das paredes da sala, os alunos deveriam imaginar uma fonte de luz emitindo um único raio de luz branca que incidisse obliquamente em um extenso espelho plano ideal, capaz de refletir toda a luz nele incidente, fixado na parede oposta àquela na qual o estudante estaria encostado (observe a figura).



Reprodução/UNESP, 2010

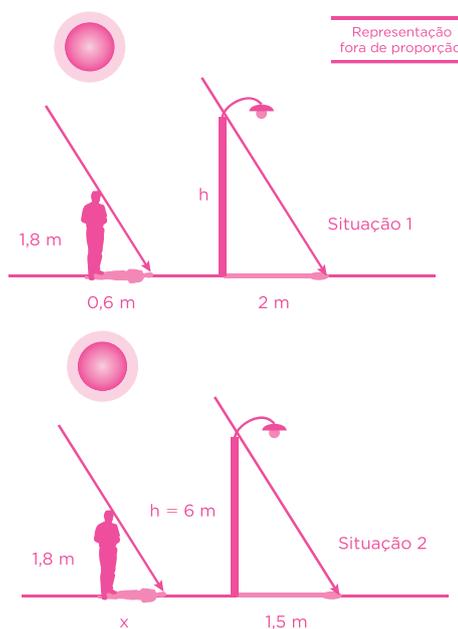
Se tal experiência pudesse ser realizada nas condições ideais propostas pelo professor, o estudante dentro da sala

- a) enxergaria somente o raio de luz.
- b) enxergaria somente a fonte de luz.
- ▶ c) não enxergaria nem o espelho, nem o raio de luz.
- d) enxergaria somente o espelho em toda sua extensão.
- e) enxergaria o espelho em toda sua extensão e também o raio de luz.

O raio de luz não é visto pelo observador durante sua passagem diante dos olhos porque não há partículas em suspensão para difundir a luz desse raio. Como a luz refletida pelo espelho incide sobre a parede e é totalmente absorvida, o observador não vê a parede. Sendo assim, o observador não verá nada no interior da sala.

- (Enem) A sombra de uma pessoa que tem 1,80 m de altura mede 60 cm. No mesmo momento, a seu lado, a sombra projetada de um poste mede 2,00 m. Se, mais tarde, a sombra do poste diminuiu 50 cm, a sombra da pessoa passou a medir:

- a) 30 cm
- ▶ b) 45 cm
- c) 50 cm
- d) 80 cm
- e) 90 cm



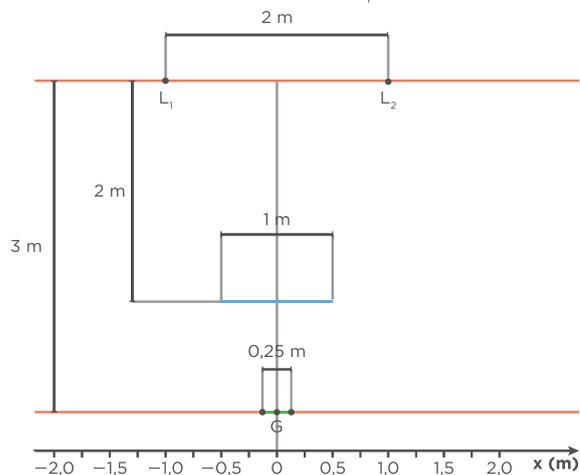
Da situação 1, obtemos:

$$\frac{1,8}{h} = \frac{0,6}{2} \therefore h = 6 \text{ m}$$

Assim, a partir da situação 2, temos:

$$\frac{1,8}{6} = \frac{x}{1,5} \therefore x = 0,45 \text{ m} = 45 \text{ cm}$$

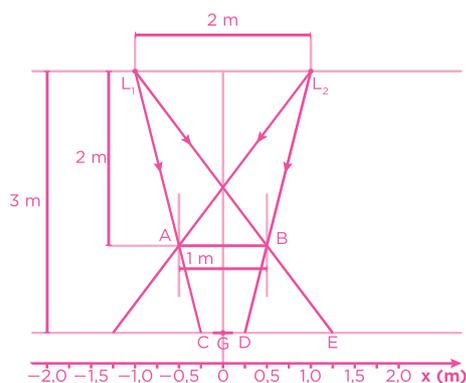
- No teto de uma sala há duas fontes de luz puntiformes, L_1 e L_2 , separadas pela distância de 2 m. Pelo ponto médio do segmento que une as duas fontes há uma linha vertical, conforme indica a figura. Abaixo das lâmpadas, há uma mesa quadrada de 1 m de largura e um gato de 25 cm de comprimento. O centro da mesa e o centro do gato (G) estão na mesma vertical que passa pelo ponto médio entre as lâmpadas. O pé-direito da sala é de 3 m acima e o tampo da mesa está 2 m abaixo do teto.



Suponha que o gato possa se deslocar livremente ao longo do eixo x representado nessa figura. Para que nenhuma parte desse gato entre na região plenamente iluminada, o ponto G pode se deslocar entre:

- 1,0 m e +1,0 m;
- ▶ -1,125 m e +1,125 m;
- 1,25 m e +1,25 m;
- 1,375 m e +1,375 m;
- 1,5 m e +1,5 m.

É necessário determinar o comprimento da penumbra (\overline{DE}) e da sombra (\overline{CD}) projetadas. O esquema representa a situação:



A partir da figura, podemos obter o comprimento da penumbra:

$$\triangle L_1 L_2 B \sim \triangle EDB \Rightarrow \frac{\overline{DE}}{2} = \frac{1}{2} \therefore \overline{DE} = 1 \text{ m}$$

Devido à simetria, as penumbras projetadas possuem o mesmo comprimento.

A partir da figura, podemos obter também o comprimento da sombra:

$$\triangle L_1 AB \sim \triangle L_1 CE \Rightarrow \frac{\overline{CD} + \overline{DE}}{3} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{\overline{CD} + 1}{3} = \frac{1}{2} \therefore \overline{CD} = 0,5 \text{ m}$$

O centro da sombra projetada coincide com a origem do eixo x ; dessa forma, a figura é simétrica em relação à origem. Para determinar a resposta, basta analisar apenas o lado direito ($x > 0$).

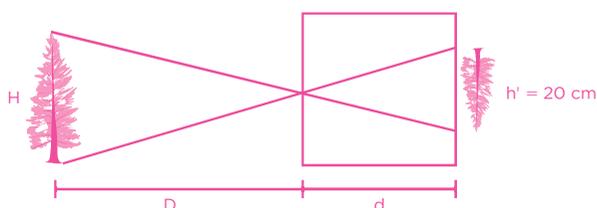
A abscissa que corresponde à fronteira entre a penumbra e a região iluminada, ponto E, é igual a +1,25 m. Fazendo o gato deslocar-se o máximo possível, sua extremidade deve chegar a esse ponto E. Como a pergunta se refere ao ponto G (centro do gato), devemos subtrair desse valor metade do comprimento do gato (0,125 m). Dessa forma, o ponto G deve ocupar a abscissa igual a $1,25 \text{ m} - 0,125 \text{ m} = +1,125 \text{ m}$.

5. Ao iluminarmos a placa com luz monocromática azul, a cor azul será refletida nas palavras pintadas de branco, pois o branco reflete todas as cores, e na palavra pintada de azul. Com isso, enxergaremos as palavras "PRETO", "VERDE" e "VERMELHO" e as cores preto e azul somente.

Um jovem fotógrafo segura uma câmara escura de orifício que reproduz uma imagem com 20 cm de altura de um pinheiro observado. Esse jovem gostaria que a imagem tivesse seu tamanho reduzido pela metade e resolve mudar a sua distância em relação ao pinheiro, sempre mantendo o alinhamento entre a câmara e a árvore. Sendo um excelente estudante de Física, ele resolve:

- aproximar-se do pinheiro a metade da distância inicial.
- aproximar-se do pinheiro a um quarto da distância inicial.
- manter-se na mesma distância do pinheiro.
- afastar-se do pinheiro de uma distância equivalente à inicial.
- afastar-se do pinheiro de uma distância equivalente à metade da inicial.

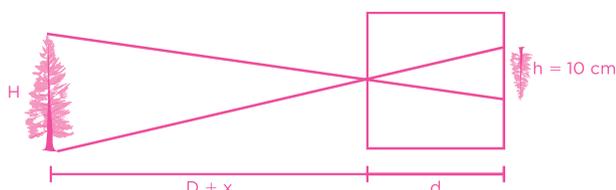
Para diminuir o tamanho da imagem, é necessário que a distância entre a câmara escura e o objeto registrado aumente. A situação inicial é representada pela figura abaixo:



Escrevendo a relação de semelhança de triângulos para a situação inicial, temos:

$$\frac{H}{D} = \frac{20}{d} \quad (I)$$

A situação final é representada pela figura abaixo:



Escrevendo a relação de semelhança de triângulos para a situação final, temos:

$$\frac{H}{D+x} = \frac{10}{d} \quad (II)$$

Reescrevendo I, temos: $H \cdot d = 20D$

Reescrevendo II, temos: $H \cdot d = 10 \cdot (D + x)$

Igualando as expressões, temos:

$$20D = 10 \cdot (D + x)$$

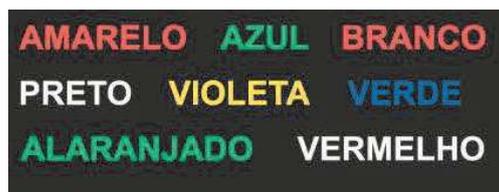
$$20D = 10D + 10x$$

$$10D = 10x$$

$$x = D$$

A câmara precisa ser afastada de uma distância equivalente à distância inicial que a separava do pinheiro.

(PUC-SP) Observe atentamente a imagem abaixo. Temos uma placa metálica de fundo preto sobre a qual foram escritas palavras com cores diferentes. Supondo que as cores utilizadas sejam constituídas por pigmentos puros, ao levarmos essa placa para um ambiente absolutamente escuro e a iluminarmos com luz monocromática azul, as únicas palavras e cores resultantes, respectivamente, que serão percebidas por um observador de visão normal, são:



Reprodução/PUC, 2017

- (PRETO, AZUL e VERMELHO) e (azul)
- (PRETO, VERDE e VERMELHO) e (preto e azul)
- (PRETO e VERMELHO) e (preto, azul e verde)
- (VERDE) e (preto e azul)

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

Aula 20

- Leia os itens 1 a 5 da seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 1 a 4 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

Aula 21

- Leia os itens 6 a 8 da seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 12 a 15 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

Aula 20

- Leia os itens 1 a 5 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 5 a 8 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

Aula 21

- Leia os itens 6 a 8 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 16 a 19 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

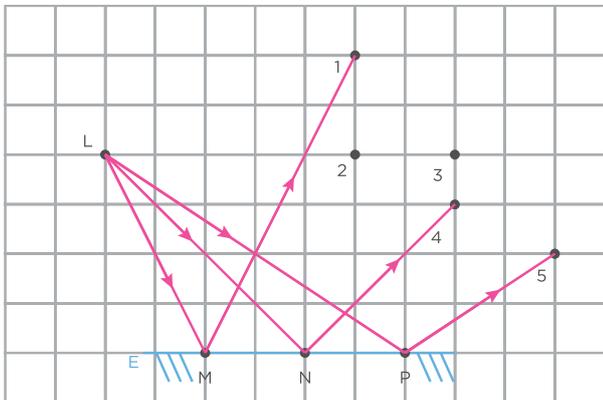
Aula 20

- Faça as questões 9 e 10 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

Aula 21

- Faça as questões 20 e 21 do capítulo 1 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

— Uma fonte de luz L e cinco pontos identificados por 1, 2, 3, 4 e 5 estão diante de um espelho plano E, conforme mostra figura.

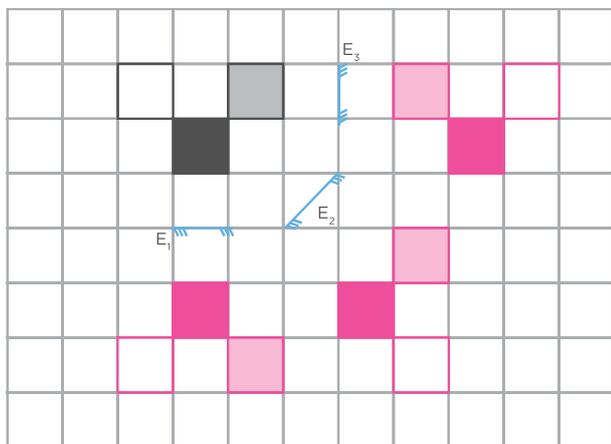


A luz emitida por L, que atinge o espelho no ponto:

- a) M reflete e passa pelo ponto 1, N reflete e passa pelo ponto 3 e P reflete e passa pelo ponto 5.
- ▶ b) M reflete e passa pelo ponto 1, N reflete e passa pelo ponto 4 e P reflete e passa pelo ponto 5.
- c) M reflete e passa pelo ponto 2, N reflete e passa pelo ponto 3 e P reflete e passa pelo ponto 4.
- d) M reflete e passa pelo ponto 2, N reflete e passa pelo ponto 3 e P reflete e passa pelo ponto 5.
- e) M reflete e passa pelo ponto 2, N reflete e passa pelo ponto 4 e P reflete e passa pelo ponto 5.

Construindo os raios emitidos por L que incidem em M, N e P, de acordo com a lei da reflexão, podemos observar que eles passam pelos pontos 1, 4 e 5, respectivamente.

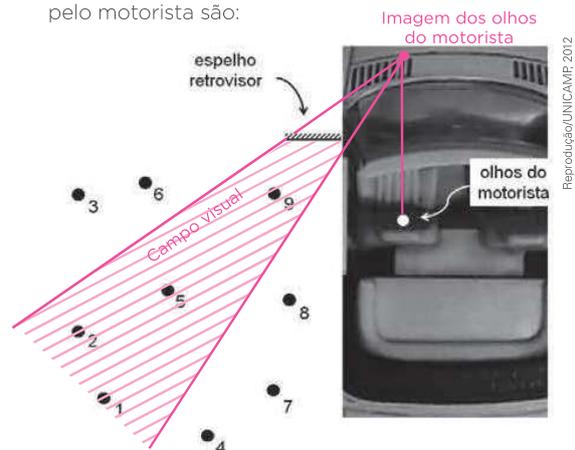
— Um objeto geométrico é colocado diante de três espelhos planos E_1 , E_2 , e E_3 , conforme mostra a figura.



Qual a alternativa que apresenta as três imagens conjugadas pelos espelhos E_1 , E_2 e E_3 respectivamente?

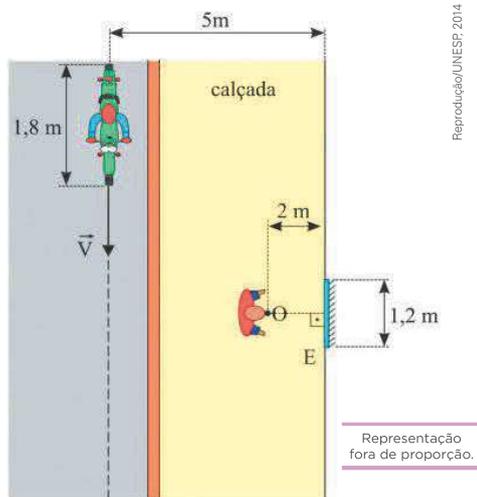
- ▶ a)
- b)
- c)
- d)

— (Unicamp-SP) A figura abaixo mostra um espelho retrovisor plano na lateral esquerda de um carro. O espelho está disposto verticalmente e a altura do seu centro coincide com a altura dos olhos do motorista. Os pontos da figura pertencem a um plano horizontal que passa pelo centro do espelho. Nesse caso, os pontos que podem ser vistos pelo motorista são:



- a) 1, 4, 5 e 9.
- b) 4, 7, 8 e 9.
- ▶ c) 1, 2, 5 e 9.
- d) 2, 5, 6 e 9.

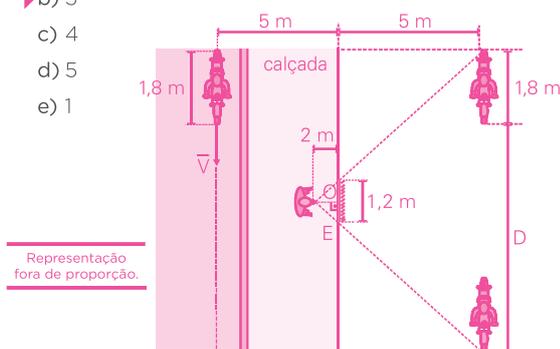
- (Unesp) Uma pessoa está parada numa calçada plana e horizontal diante de um espelho plano vertical E pendurado na fachada de uma loja. A figura representa a visão de cima da região.



Olhando para o espelho, a pessoa pode ver a imagem de um motociclista e de sua motocicleta, que passam pela rua com velocidade constante $V = 0,8 \text{ m/s}$, em uma trajetória retilínea paralela à calçada, conforme indica a linha tracejada. Considerando que o ponto O na figura represente a posição dos olhos da pessoa parada na calçada, é correto afirmar que ela poderá ver a imagem por inteiro do motociclista e de sua motocicleta refletida no espelho durante um intervalo de tempo, em segundos, igual a

- a) 2
 b) 3
 c) 4
 d) 5
 e) 1

A figura mostra a pessoa observando a passagem do motociclista.

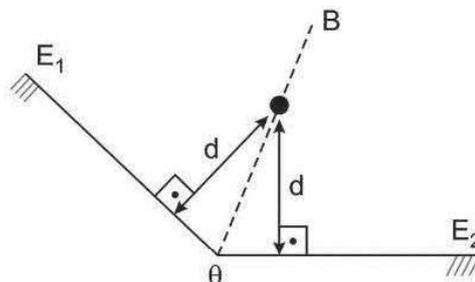


Por semelhança de triângulos:

$$\frac{D + 1,8}{5 + 2} = \frac{1,2}{2} \Rightarrow D = 7 \cdot 0,6 - 1,8 \therefore D = 2,4 \text{ m}$$

$$t = \frac{D}{V} = \frac{2,4}{0,8} \therefore t = 3 \text{ s}$$

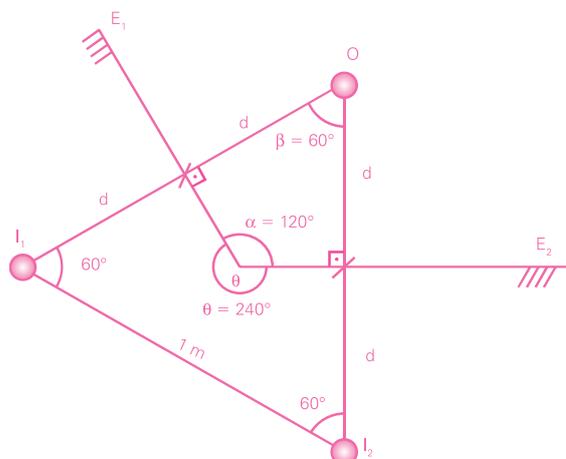
- (UPE) Dois espelhos planos, E_1 e E_2 , são posicionados de forma que o maior ângulo entre eles seja igual a $\theta = 240^\circ$. Um objeto pontual está posicionado à mesma distância d até cada espelho, ficando na reta bissetriz do ângulo entre os espelhos, conforme ilustra a figura.



Sabendo que a distância entre as imagens do objeto é igual a 1,0 m, determine o valor da distância d .

- a) 0,5 m
 b) 1,5 m
 c) 2,0 m
 d) 3,5 m
 e) 4,0 m

A figura mostra as imagens I_1 e I_2 formadas pelos dois espelhos.



Nessa figura:

$$\theta + \alpha = 360^\circ \Rightarrow 240^\circ + \alpha = 360^\circ \Rightarrow \alpha = 120^\circ$$

Pela soma dos ângulos internos de um quadrilátero:

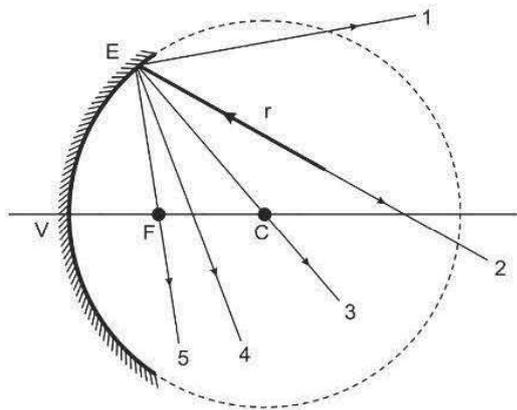
$$\beta + \alpha + 90^\circ + 90^\circ = 360^\circ \Rightarrow \beta + 120^\circ + 90^\circ + 90^\circ = 360^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta = 60^\circ$$

Como se pode notar, o triângulo $I_1\hat{O}I_2$ é equilátero e tem 1 m de lado. Como no espelho plano objeto e imagem são simétricos, temos:

$$2d = 1 \therefore d = 0,5 \text{ m}$$

— (PUC-RS) Na figura abaixo, ilustra-se um espelho esférico côncavo E e seus respectivos centro de curvatura (C), foco (F) e vértice (V). Um dos infinitos raios luminosos que incidem no espelho tem sua trajetória representada por r . As trajetórias de 1 a 5 se referem a possíveis caminhos seguidos pelo raio luminoso refletido no espelho.

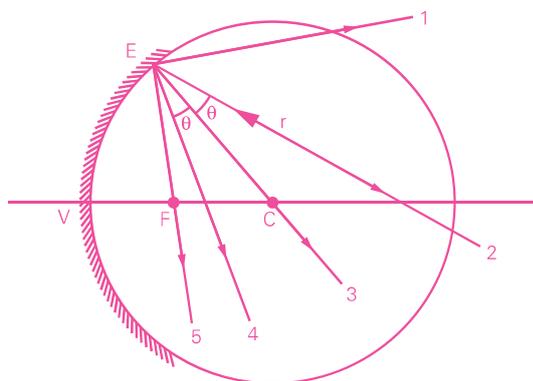


Reprodução/PUC-RS, 2017

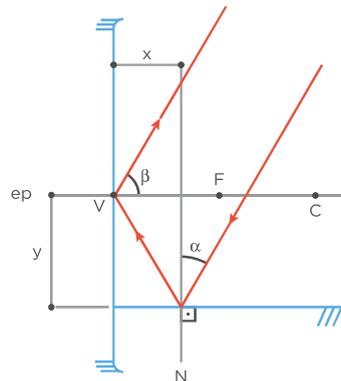
O número que melhor representa a trajetória percorrida pelo raio r , após refletir no espelho E, é

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- ▶ d) 4
- e) 5

O ângulo de reflexão será sempre igual ao ângulo de incidência. No desenho, temos representados o raio incidente r , a reta normal – que coincide com o raio 3, segmento de reta que passa pelo centro –, o ângulo θ de incidência e um outro ângulo de mesmo valor, representando o ângulo de reflexão; da figura, concluímos que o raio refletido só pode ser o representado pela reta 4, conforme mostra a figura abaixo.



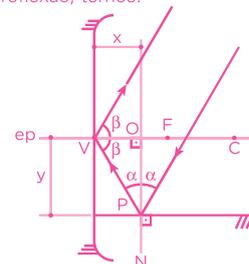
— Um espelho esférico gaussiano do tipo côncavo está associado perpendicularmente a um espelho plano, como mostra a figura. O raio de luz representado incide sobre o espelho plano e reflete atingindo o vértice do espelho esférico quando realiza nova reflexão. O ângulo de incidência no espelho plano mede α e o ângulo de reflexão no espelho esférico mede β .



Admitindo que $x = 1$ m, quando o ângulo α medir:

- a) 30° , o ângulo β medirá 30° e a medida de y será igual a $\sqrt{3}$ m.
- b) 30° , o ângulo β medirá 60° e a medida de y será igual a $\frac{\sqrt{3}}{3}$ m.
- ▶ c) 30° , o ângulo β medirá 60° e a medida de y será igual a $\sqrt{3}$ m.
- d) 60° , o ângulo β medirá 60° e a medida de y será igual a $\frac{\sqrt{3}}{3}$ m.
- e) 60° , o ângulo β medirá 30° e a medida de y será igual a $\sqrt{3}$ m.

Anotando os valores dos ângulos nos pontos P e V, de acordo com as leis da reflexão, temos:



O triângulo VPO é retângulo; logo, $\alpha + \beta = 90^\circ$

Se $\alpha = 30^\circ$, então $\beta = 60^\circ$

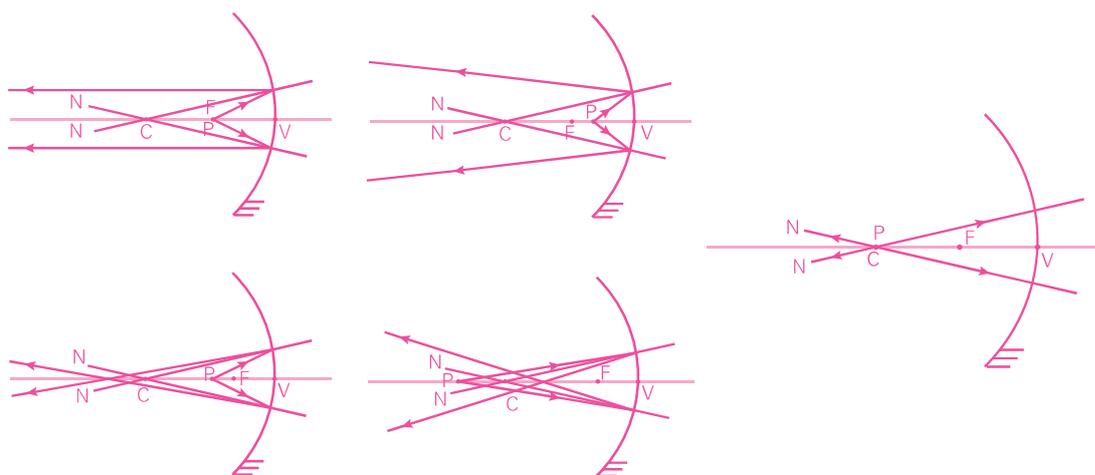
Como $x = 1$ m e $\text{tg } 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$, temos:

$$\frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{x}{y} \Rightarrow y = \frac{3}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \text{ m}$$

— (UFG-GO) O sistema óptico encontrado no farol de um automóvel é constituído por um espelho côncavo e uma lâmpada posicionada sobre o seu eixo de simetria. Considerando-se que o feixe de luz proveniente desse farol seja divergente, a posição da lâmpada deve ser

- a) sobre a posição focal.
- ▶ b) entre o vértice e a posição focal.
- c) entre a posição focal e o centro de curvatura.
- d) após o centro de curvatura.
- e) sobre a posição do centro de curvatura.

O ponto P, emissor de luz, foi representado em todas as posições apontadas nas alternativas. Deste ponto, foram traçados dois raios que incidem sobre o espelho e refletem, de acordo com a lei da reflexão. O único caso em que os raios divergem corresponde ao item **b**.



ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

- Leia a seção *Nesta aula*.
- Faça as questões 1 a 4 do capítulo 3 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

- Leia os itens 1 a 3 do capítulo 3 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

- Faça as questões 5 a 8 do capítulo 3 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

- Faça as questões 9 e 10 do capítulo 3 de *Óptica geométrica do Caderno de Estudos*.