

Ondulatória

Assunto: Ondas

Aula 08 – Ondas Sonoras (Acústica)

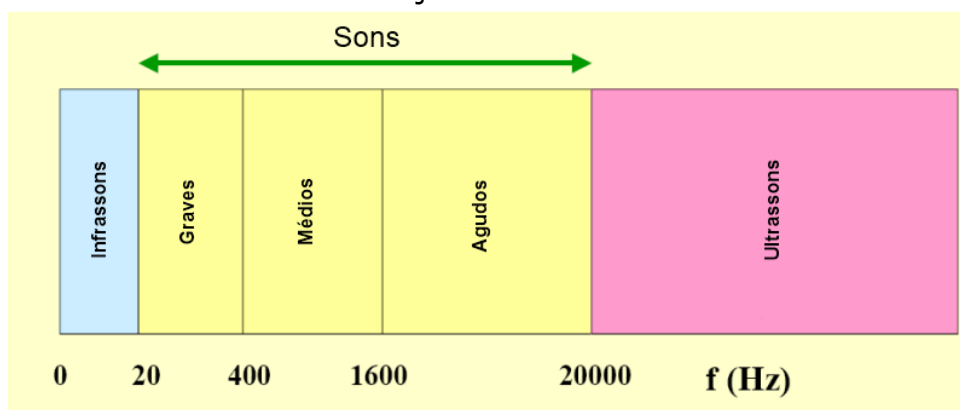
Para acompanhar esta aula em vídeo, vá à aba “Aulas” e clique em Ondulatória – aula 08

Ondas Sonoras

A área da Física que estuda o **som** é chamada de **ACÚSTICA**. O som é uma onda mecânica que possui a intensidade e frequência necessárias para ser captada pelo ouvido humano. Como já foi falado em aulas anteriores, entendemos como onda mecânica uma onda que precisa de meios materiais como o ar, água, uma corda, o solo, ou outro meio material qualquer para se propagar. O som não se propaga no vácuo e essa onda mecânica é do tipo longitudinal e se propaga tridimensionalmente (em todas as direções).

Produção do som

Nossos ouvidos são sensíveis a ondas mecânicas na faixa de 20 Hz até 20.000 Hz. Abaixo de 20 Hz chamamos de infrassons e acima de 20.000 Hz chamamos de ultrassons. Já comentei na aula 05 sobre o movimento dos alto falantes. Eles vibram para frente e para trás fazendo com que o ar em sua volta vibre com a mesma frequência. Nossos ouvidos captam esta vibração através do tímpano que por sua vez transmite ao cérebro as informações sonoras.



Transmissão do som

A maioria dos sons chegam aos nossos ouvidos pela vibração do ar, ou seja, são transmitidos através da vibração das moléculas suspensas no ar. Mas o som pode se propagar através de vários meios materiais. Como o som se propaga devido a vibração das moléculas do meio, meios mais densos tendem a facilitar a propagação do som, uma vez que as moléculas estão mais próximas umas das outras e assim a informação passa de molécula a molécula com uma velocidade maior. Só como

ilustração veja na tabela a velocidade de propagação do som em alguns materiais a 25°C.

Meio	Velocidade (m/s)
Ar	346
Hidrogênio	1 339
Água	1 498
Álcool	1 207
Alumínio	5 000
Ferro	5 200
Vidro	4 540

Qualidades fisiológicas do som

As qualidades fisiológicas do som são: **altura**, **intensidade** e **timbre**.

- **Altura:** é qualidade que permite classificar os sons em graves (baixos) e agudos (altos). A altura depende da frequência: **graves - frequência menor; agudos - frequência maior.**

Por exemplo: A voz do homem tem frequência que varia entre 100Hz e 200Hz e a da mulher entre 200Hz e 400Hz, portanto, a voz do homem geralmente é mais grave que a voz da mulher.

- **Intensidade:** é a qualidade que permite distinguir um som forte de um som fraco. (Está relacionado com o volume de um aparelho de som).

$$I = \frac{P_{ot}}{A}$$

$$P_{ot} \rightarrow W \text{ (watt)} = J/s$$

$$A = 4\pi R^2 \rightarrow m^2$$

$$I \rightarrow W/m^2$$



A menor intensidade de som que percebemos é da ordem de 10^{-12} W/m^2 , então dizemos que o nosso limiar auditivo inferior é $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Já a maior intensidade, que chamamos de limiar da dor, que é o maior valor suportável pelo ouvido, vale 1 W/m^2 .

À medida que o observador se afasta da fonte sonora, a **intensidade auditiva** ou **nível sonoro** (β) diminui logaritmicamente, de acordo com a expressão:

$$\beta = \log \frac{I}{I_0}$$

A unidade do nível sonoro β é dado em **B (bel)**, mas a unidade mais usual é o **decibel (dB)** onde **1 dB = 10⁻¹ B**.

Então a nossa expressão fica:

$$\frac{\beta}{10} = \log \frac{I}{I_0} \longrightarrow \boxed{\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}}$$

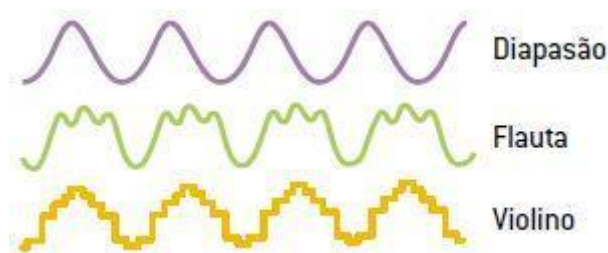
β = intensidade auditiva dada em dB (decibel).
 I = Intensidade do som dada em W/m^2 -
 $I_0 = 10^{-12} W/m^2$. (limiar inferior)

- **Timbre:** é a qualidade que permite classificar os sons de mesma altura (frequência) e de mesma intensidade, emitidos por fontes diferentes.

A mesma nota tocada em um violão, em um violino, ou em um piano, produz sensações diferentes.



O timbre é a qualidade que está ligada à forma da onda. As figuras a seguir mostram três sons de mesma intensidade e todos na mesma frequência.



Exercícios de aprendizagem:

1) Calcule quantas vezes devemos amplificar um som para que seu nível sonoro passe de 30 dB para 60 dB. Dado $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

2) (UMC-SP) Assinale a alternativa incorreta:

- a) O som se propaga somente em meios materiais.
 - b) A velocidade de propagação de ondas é a mesma qualquer que seja o meio.
 - c) A altura de um som é caracterizado pela frequência.
 - d) Ondas sonoras são ondas longitudinais.
 - e) As ondas, ao se propagarem, transportam energia sem que ocorra o transporte de matéria.
- 3) (FGV-SP) Um som de alta frequência é muito:

- a) forte
- b) agudo
- c) grave
- d) fraco
- e) n.d.a.

Respostas: 1) 1000 vezes 2) b 3) b

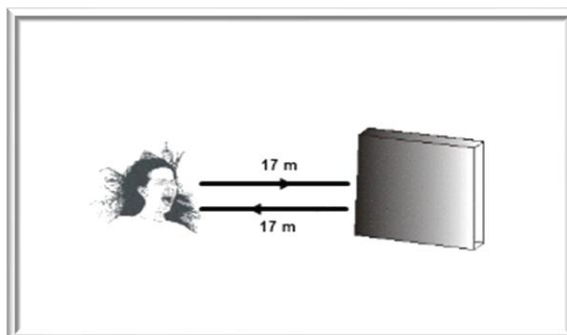
Fenômenos Sonoros

Sendo o som uma onda, ele apresenta as seguintes propriedades características de ondas como, algumas já estudadas em aulas anteriores, **reflexão**, **refração**, **difração**, **ressonância**, e iremos finalizar com o **Efeito Doppler**.

Reflexão

O **eco** é um exemplo de reflexão de ondas sonoras em nosso dia a dia.

O **eco** ocorre quando uma pessoa emite um som e recebe, além do som direto, o refletido em um anteparo, após um intervalo de tempo maior que 0,1s. Admitindo a velocidade do som no ar seja 340m/s, em 0,1s o som percorre 34m, sendo 17m para atingir o anteparo e 17m para voltar. Sendo assim você observará bem o **eco** se você estiver no mínimo a uma distância de 17 metros do anteparo.



Se o som retornar aos seus ouvidos antes de um intervalo de tempo de 0,1s, ocorrerá um fenômeno que chamamos de **reverberação**, que é quando a pessoa recebe o som de volta antes que o som direto seja extinguido. A **reverberação** ocasiona um prolongamento da sensação auditiva.

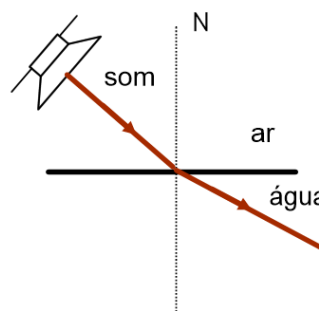
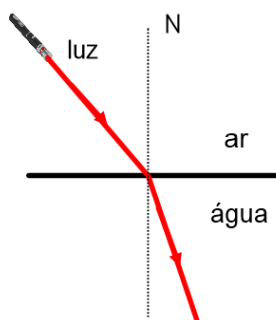
Sugestões de vídeos:

<https://www.youtube.com/watch?v=cjVm3sCxIyI>

<https://www.youtube.com/watch?v=tsd5Wknm910>

Refração

Consiste em o som passar de um meio para outro, mudando sua velocidade de propagação e o comprimento de onda, mas mantendo constante a frequência. Um exemplo de refração do som seria quando a onda sonora incide na água, meio material mais denso que o ar. Nessa situação, de refração sonora, a onda aumenta de velocidade e se afasta da normal, comportamento contrário ao da luz, que teria sua velocidade diminuída e se aproximaria da normal.



Difração

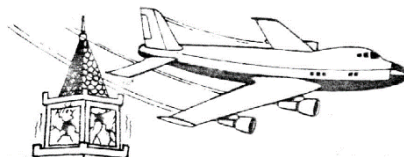
Consiste no fenômeno em que o som pode transpor obstáculos. Desse modo, uma pessoa, atrás de uma parede, pode ouvir o som emitido por uma fonte atrás dela.



Ressonância

Uma fonte sonora produz no ar vibrações que provocam oscilações forçadas nos corpos próximos. Quando a frequência própria de um corpo for igual à frequência da fonte, o corpo entra em ressonância com a fonte; nesse caso, a amplitude de oscilação do corpo atinge valores elevados, pois a fonte, progressivamente, cede energia ao corpo.

Como exemplo, podemos citar o vidro de uma janela que se quebra ao entrar em ressonância com as ondas sonoras produzidas por um avião a jato.



Pelo mesmo motivo, as tropas militares que atravessam uma ponte não o fazem marchando, mas sim com o passo alternado.



Ressonância quebrando um copo



Ressonância ponte de Tacoma

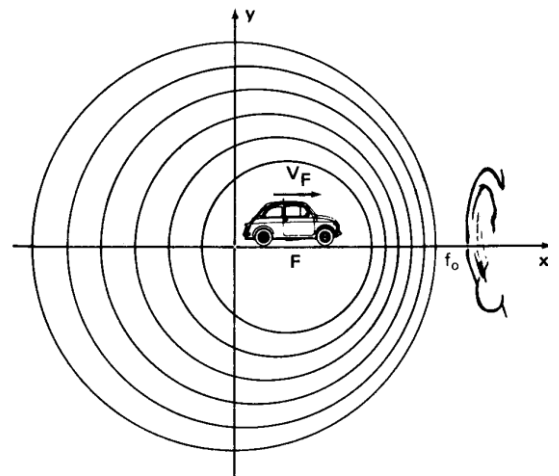
Sugestão de vídeo:

<https://br.video.search.yahoo.com/search/video?fr=mcafee&p=ponte+tacoma#id=2&vid=0fd5d7c380c76260e429ece41d2d4547&action=view>

Efeito Doppler

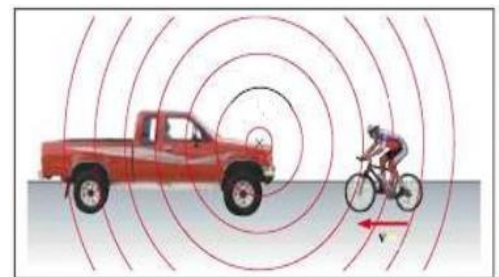
O efeito Doppler ocorre quando há uma aproximação ou um afastamento entre o observador e a fonte sonora, fazendo com que a frequência da onda sonora percebida pelo observador seja diferente da frequência real da onda emitida pela fonte.

Quando a fonte sonora (barulho do motor de um carro, por exemplo) se aproxima de um observador parado, este recebe com maior frequência as ondas do que receberia se o carro estivesse parado. Nesta situação, a frequência percebida pelo observador (f_0) da figura é maior que a frequência do som emitido pela fonte (f_F).



De modo inverso, se a fonte se afasta do observador imóvel, temos que f_0 é menor que f_F .

Se considerarmos agora a fonte sonora parada e o observador em movimento, temos que, ao se aproximar da fonte sonora, o observador receberá o som com maior frequência das ondas do que se estivesse parado. Já quando ele se afasta da fonte, ele perceberá um número menor de ondas, pois está se afastando das mesmas, recebendo assim um som de frequência menor.



Como já vimos na altura do som, maior frequência, o som é mais agudo e menor frequência, som mais grave.

- Aproximação $\Rightarrow f_0 > f \Rightarrow$ o som que o observador recebe é mais agudo que o som da fonte.
- Afastamento $\Rightarrow f_0 < f \Rightarrow$ o som que o observador recebe é mais grave que o som da fonte.

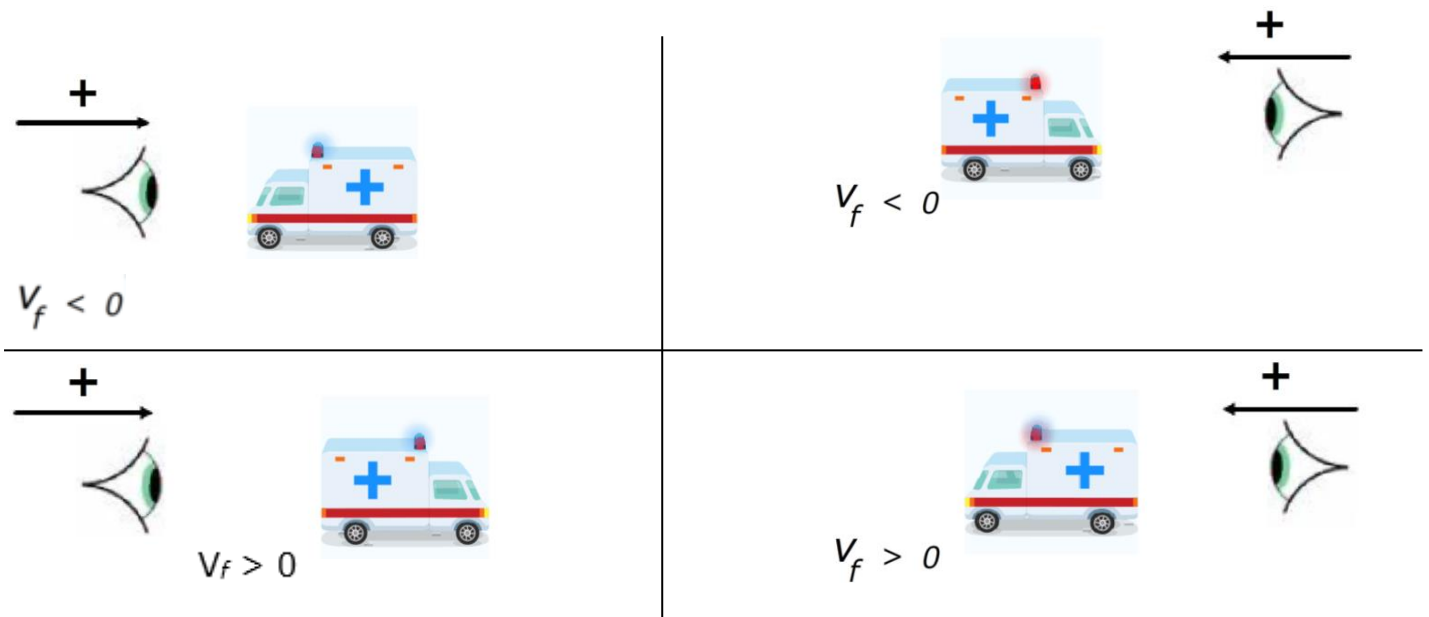
Obs. No caso de um avião supersônico, ele não poderá permanecer na velocidade do som por muito tempo. Isso ocorre porque toda onda de som produzida iria ficar na mesma posição dele e isso pode causar um efeito de ressonância já visto nesta aula. A velocidade deverá ser sempre maior ou menor que a velocidade do som.

Observa-se que a frequência percebida pelo observador dependerá da velocidade relativa entre ele e a fonte. Essas grandezas são relacionadas pela expressão:

$$f_o = f_f \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_f} \right)$$

f_o : frequência percebida pelo observador (frequência aparente);
 f_f : frequência emitida pela fonte (frequência real);
 v : velocidade da onda sonora no meio;
 v_o : velocidade do observador;
 v_f : velocidade da fonte.

Para escolher os sinais + ou – na equação acima, devemos considerar como positivo o sentido do observador para a fonte. É como se o observador tivesse que estar sempre virado para a fonte. Esse sentido é o sentido positivo. Veja no esquema:



Exercício de aprendizagem:

4) Uma fonte sonora emite continuamente um som de 396 Hz. Admitindo a velocidade do som no ar igual a 340 m/s, determine a frequência percebida por um observador nos seguintes casos:

- a pessoa está parada e a fonte também;
- o observador encontra-se parado e a fonte se afasta dele com velocidade de 10 m/s;
- a fonte e o observador movem-se na mesma direção e em sentidos contrários, aproximando-se um do outro, cada um a 10 m/s.

Exercícios de Fixação:

1) O limiar da audibilidade corresponde à intensidade de 10^{-12} W/m^2 . Num salão de baile, a intensidade do som é de 10^{-4} W/m^2 . Determine em decibel, o nível sonoro do som nesse salão.

2) Coloque **V** de verdadeiro ou **F** de falso:

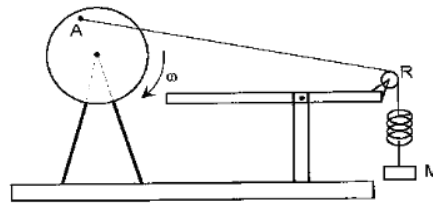
- () As ondas sonoras se propagam com velocidades que dependem do meio (sólido, líquido ou gás).
- () O fenômeno conhecido como eco está associado à reflexão das ondas sonoras.
- () O ouvido humano é capaz de ouvir sons de qualquer frequência.
- () As ondas sonoras são ditas transversais.
- () A velocidade de uma onda sonora é sempre maior que a velocidade da luz.
- () A qualidade fisiológica do som que é relacionado com o volume é a altura.
- () Quando você reconhece a voz de uma pessoa é porque você conhece o timbre de voz da mesma.
- () A altura do som está relacionada com a frequência do som.

3) (Fuvest sp) Para o ouvido humano, a mínima intensidade sonora perceptível é 10^{-16} W/cm^2 e a máxima intensidade suportável sem dor é de 10^{-4} W/cm^2 . Uma fonte sonora produz som que se propaga uniformemente em todas as direções do espaço e que começa a ser percebido pelo ouvido humano a uma distância de 1 km.

Determine:

- a) A potência sonora da fonte;
- b) A menor distância da fonte que uma pessoa poderá chegar sem sentir dor.

- 4) (PUC-SP) Refração é a propriedade de uma onda que descreve:
- a) uma alteração na direção de propagação, ao atingir uma barreira.
 - b) um espalhamento ao passar por uma abertura estreita.
 - c) uma modificação na sua amplitude, ao superpor-se a outra onda.
 - d) uma mudança em sua velocidade, ao passar de um meio para outro.
 - e) uma variação em sua frequência, ao mudar a direção de propagação.
- 5) (UFPR) Identifique a característica de uma onda sonora:
- a) Propaga-se no vácuo com a velocidade igual à da luz.
 - b) Tem a velocidade de propagação igual a 340 m/s em qualquer meio.
 - c) Propaga-se como onda transversal.
 - d) Todas as ondas sonoras têm igual comprimento de onda.
 - e) Necessita de um meio material para se propagar.
- 6) (UFJF-MG) Vemos um relâmpago e depois ouvimos o trovão. Isso ocorre porque:
- a) o som se propaga no ar.
 - b) a luz do relâmpago é muito intensa.
 - c) a velocidade do som no ar é de 340m/s.
 - d) a velocidade do som é menor que a da luz.
 - e) o ouvido é mais lento que o olho.
- 7) (UFRS) Do som mais grave ao mais agudo de uma escala musical, as ondas sonoras sofrem um aumento progressivo de:
- a) amplitude b) alongação c) velocidade d) frequência e) comprimento de onda.
- 8) (Unirio-RJ) A caixa de ressonância de um instrumento de cordas tem a finalidade de:
- a) alterar a frequência do som emitido pela corda.
 - b) aumentar a amplitude do som pelo fenômeno da ressonância.
 - c) determinar o fenômeno da ressonância, através do qual novos sons, de novas frequências, são incorporados ao que foi emitido pela corda.
 - d) produzir difração mais intensa dos sons emitidos.
 - e) diminuir a frequência do som emitido.
- 9) (UFJF) - Na figura abaixo, está representado um corpo de massa **M** preso a uma extremidade de uma mola. A outra extremidade da mola está presa a um fio que, por sua vez, está preso a um ponto **A** do disco. O fio pode correr através da roldana **R**. O disco está ligado a um motor que gira com velocidade angular ω . Esta velocidade angular pode ser variada, controlando a rotação do motor. A frequência angular natural de vibração da mola é ω_0 .



Se variarmos a rotação do motor até atingirmos $\omega = \omega_0$ e desprezarmos a resistência do ar, podemos afirmar que

- nestas circunstâncias, na condição de ressonância, a massa M permanecerá em repouso;
- a amplitude de oscilação da mola aumentará, pois estaremos na condição de ressonância;
- estaremos na condição de ressonância, e isso mudará a constante elástica da mola, alterando, portanto, a sua amplitude de oscilação;
- não estaremos na condição de ressonância, pois $\omega = \omega_0$.

10) Uma locomotiva com velocidade de 144 km/h se aproxima de um observador parado na estação, emitindo um som de frequência igual a 120 Hz. Admitindo que a velocidade do som é 340 m/s, determine a frequência aparente do som recebido pelo observador.

Gabarito: 1) $\beta = 80$ dB 2) V V F F F F V V
3)

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad \text{a) } I_0 = \frac{P_{ot}}{A} \rightarrow 10^{-12} = \frac{P_{ot}}{4\pi R^2} \rightarrow P_{ot} = 4\pi R^2 \cdot 10^{-12}$$

$$I = 1 \text{ W/m}^2$$

$$R = 1 \text{ km}$$

$$P_{ot} = 4\pi \cdot 1000^2 \cdot 10^{-12}$$

$$P_{ot} = 4\pi \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

$$\text{b) } I = \frac{P_{ot}}{A} \rightarrow 1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-6}}{4\pi R^2}$$

$$R^2 = 10^{-6} \rightarrow R = \sqrt{10^{-6}} \rightarrow R = 10^{-3} \text{ m} = 1 \text{ mm}$$



Dificuldade em Física?
 Conheça o site
www.fisicafacil.net
 Todo conteúdo de Física do
Ensino Médio, aula a aula, em vídeo +
 listas de exercícios + aulas em pdf + tira
 dúvidas por whatsapp, email ou Skype.

4) D 5) E 6) D 7) D 8) B 9) B 10) $\cong 136$ Hz

CURIOSIDADE:

A maioria dos morcegos tem olhos muito pequenos, às vezes, do tamanho de uma cabeça de alfinetes. Esses órgãos não são capazes de identificar formas, permitindo ao animal, no máximo, distinguir entre claro e escuro. Para traçar suas rotas noturnas e localizar as presas, o morcego usa um sistema denominado eco orientação, que funciona como uma espécie de sonar. Ele produz com a boca sons inaudíveis para o ser humano, curtos e de alta frequência, e depois intercepta o eco das ondas sonoras refletidas. Desse modo o morcego consegue formar uma imagem sonora. Em alguns casos, os sons são feitos pelo nariz do animal, em volta da cuja narina existe uma membrana que funciona como amplificador. As precisas imagens sonoras possibilitam que ele contorne obstáculos tão finos como um arame, sem tocá-los, e que localize suas presas sob escuridão quase absoluta.