

CAPÍTULO

C1

O MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME E O MOVIMENTO ACELERADO



PARA COMPLETAR

- ☐ REFERENCIAIS - PÁG. 110
- ☐ VELOCIDADE - PÁG. 114
- ☐ ACELERAÇÃO - PÁG. 118
- ☐ MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME (MRU) - PÁG. 120
- ☐ MOVIMENTO ACELERADO - PÁG. 124

PALAVRAS-CHAVE

Hoje em dia, vivemos o mundo da velocidade! As informações nos chegam com uma rapidez que impressiona. Nossos meios de transporte atingem velocidades nunca imaginadas 100 anos atrás! Neste capítulo, vamos estudar um pouco mais a respeito dos movimentos, descrevendo trajetórias, calculando velocidades e acelerações.



PRECISO REVER OS EXERCÍCIOS:

- TÓPICOS E EXERCÍCIOS**
- ✓ FÁCIL: CONSEGUI INTERPRETAR SEM DIFICULDADES.
 - ⚪ MÉDIO: PRECISEI CONSULTAR ALGUM MATERIAL.
 - ✗ DIFÍCIL: PRECISEI DA AJUDA DE UM(A) COLEGA E / OU PROFESSOR(A).

1. Referenciais

Você já passou pela situação de estar dentro de um carro parado em uma vaga de estacionamento e, quando um ônibus que está ao lado arranca, saindo de ré, você pensa que está indo para frente? E quando você está viajando em uma estrada, já teve a impressão de que a Lua está seguindo o seu carro? Será que essas sensações correspondem a situações reais?



Figura 1. Situações percebidas no cotidiano.

Para responder a essas perguntas, será necessário compreender um pouco mais o que significa movimento. É verdade que você tem uma compreensão sobre o que é estar em movimento. No entanto, do ponto de vista da ciência, essa compreensão que você conquistou por conta de suas experiências cotidianas pode ser revista.

A pergunta “você está em movimento exatamente neste momento?”, não tem uma resposta assim tão direta como normalmente se pensa. Isso porque o conceito científico de movimento de um corpo leva em consideração uma comparação entre esse corpo e um **referencial**. Dessa forma, a melhor resposta à pergunta feita seria dizer “em relação a quê?”, porque um referencial é um sistema que se toma como base para estudar o movimento de outros corpos. Além disso, qualquer objeto pode ser utilizado como referencial, não havendo, portanto, a obrigação de utilizar um único corpo.

Com base na ideia de referencial, um corpo qualquer está em movimento se a posição que ele ocupa variar ao longo do tempo em relação a um certo referencial. Se a posição não sofrer alteração ao longo do tempo, em relação ao referencial adotado, o corpo está em repouso.

TÁ NA MÍDIA

O movimento ou repouso de um objeto dependem do referencial escolhido. O QR Code ao lado mostra como essa escolha influencia a percepção do movimento de um objeto.





monkeybusinessimages / Getty Images

Figura 2. Pessoas em um carro que se move em relação à estrada.

Vamos supor que um grupo de pessoas está dentro de um carro que se desloca em uma rua de uma cidade. Se o referencial utilizado no estudo for um poste, o carro com as pessoas está em movimento. É fácil perceber que as posições do carro e dos passageiros que estão dentro dele estão variando em relação a esse poste. No entanto, se o referencial for o painel do automóvel, as pessoas estão em repouso, já que elas mantêm uma posição fixa em relação a ele.

Neste momento, você deve estar se perguntando: mas, afinal, as pessoas dentro do carro estão em movimento ou em repouso? Qual das duas afirmativas é a verdadeira?

O conceito de movimento é relativo. Isso significa dizer que as pessoas estão em movimento para um referencial (o poste) e em repouso para outro (o painel do carro). E as duas afirmativas estão corretas.

Outro exemplo interessante é o estudo da órbita terrestre. Considerando o Sol como referencial, a Terra está em movimento. No entanto, se o referencial for a Terra, é o Sol que está em movimento. Não é por acaso que essa ideia da Terra em repouso e os outros astros em movimento em torno dela é muito antiga. Parece ser mais intuitivo usar a Terra como referencial, já que vivemos em sua superfície. Porém, tomamos como referência o Sol, porque, para um observador situado em uma estrela muito distante, tão distante que parecem fixas no céu, ele veria a Terra girando em torno do Sol em uma órbita quase circular, e não o contrário. Isso explica o motivo de adotarmos em todo o planeta o sistema heliocêntrico.

TÁ NA MÍDIA

A trajetória descrita por um corpo em movimento depende do referencial escolhido para observá-lo. Veja, no QR Code ao lado, a diferença entre as trajetórias do Sol e dos planetas nos sistemas heliocêntrico e geocêntrico.



EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



01. JULGUE a afirmativa a seguir, indicando se ela é verdadeira ou falsa.

“Quando uma pessoa está em movimento em relação a uma parede, a parede está em movimento em relação à pessoa”.

02. Considere uma corrida de Fórmula 1, em que um dos carros está passando pela reta de chegada. **CITE** três referenciais diferentes para os quais o carro está em movimento e outros três para os quais o mesmo carro está em repouso.

03. Dizemos que o Sol nasce quando ele surge pela manhã no horizonte, a leste, e dizemos que o Sol se põe quando ele desaparece ao final da tarde, a oeste.

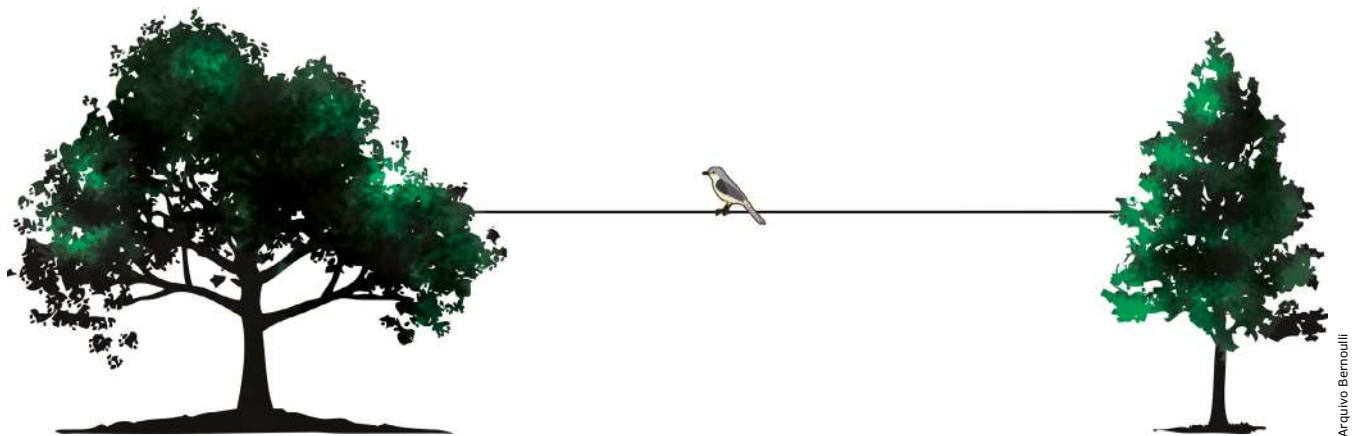
O que podemos dizer sobre o movimento do Sol? É o Sol ou a Terra que se move? O que significa afirmar uma ou outra coisa?

04. Para um referencial situado em uma estrela distante, a Terra se move ao redor do Sol em um movimento quase circular. Para uma pessoa na Terra, qual seria a trajetória dessa estrela?

Outra característica importante ligada ao estudo dos referenciais é a de trajetória. Esse conceito pode ser entendido como sendo a linha que se obtém quando todos os pontos ocupados pelo objeto durante o seu movimento são unidos.

Pense na trajetória efetuada por um pássaro que está em um fio preso a duas árvores a partir de três referenciais: uma das árvores, uma pessoa caminhando em linha reta em relação à uma das árvores e um ponto do espaço em que só seja possível ver a rotação terrestre.

Para o primeiro referencial, a árvore está em repouso. Dessa forma, não faz sentido falar em trajetória.

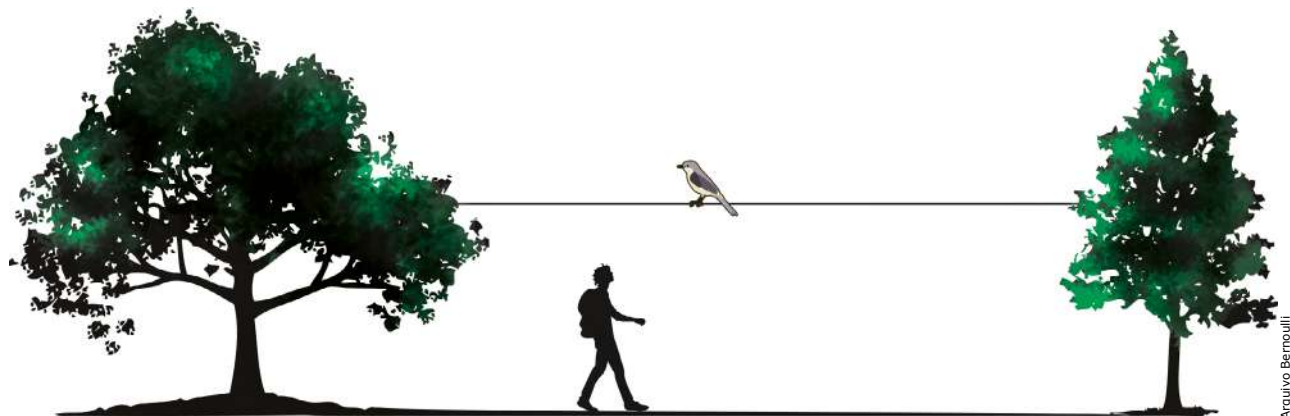


Arquivo Bernoulli

Figura 3. O pássaro está em repouso em relação a uma árvore e, portanto, o pássaro também está em repouso em relação à outra que está plantada ao seu lado.



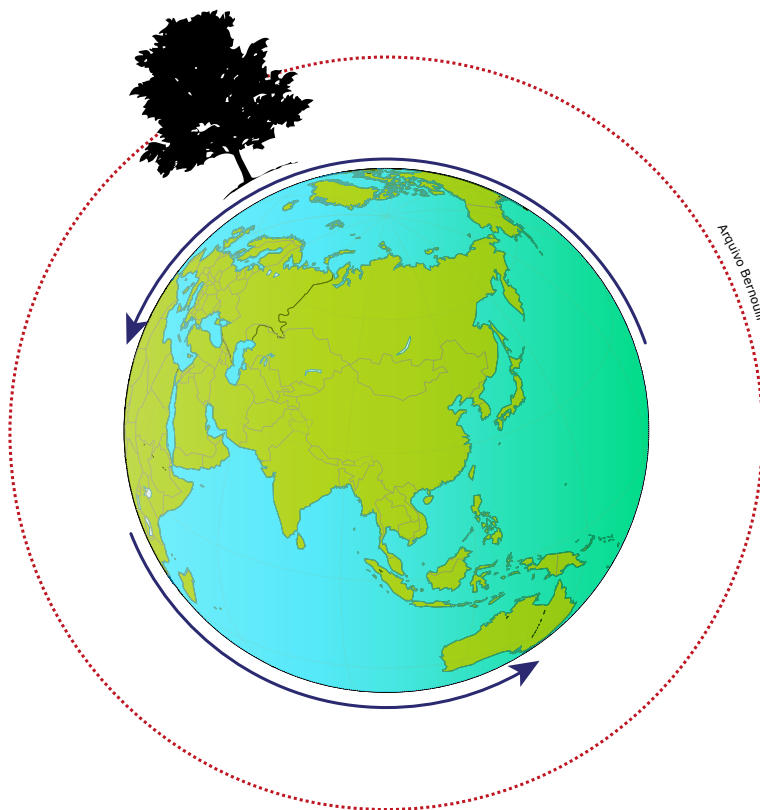
Para o segundo referencial, a trajetória da árvore é retilínea.



Arquivo Bernoulli

Figura 4. A árvore está em movimento retilíneo em relação à pessoa.

Considerando, agora, o terceiro referencial, é possível ver o movimento de rotação da Terra. Dessa forma, a trajetória será uma circunferência.



Arquivo Bernoulli

Figura 5. A árvore efetua um movimento circular.

Tal como ocorreu no caso do movimento e do repouso, as três trajetórias descritas são igualmente verdadeiras.

Você já percebeu que o estudo dos referenciais vai além de nossas impressões diárias. Isso vai exigir, sempre, uma atenção redobrada para avaliar as situações que aparecerem. E lembre-se de que todo o estudo dos movimentos, que passaremos a chamar de Mecânica, está subordinado à adoção de um referencial.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



05. Um barco se desloca com velocidade constante em relação ao mar. Em um determinado instante, uma pessoa no alto do mastro do navio solta uma pedra que se desloca praticamente livre da resistência do ar. Desenhe, nos espaços a seguir, qual seria a trajetória da pedra vista pela pessoa que a soltou e qual seria a trajetória vista por uma pessoa fixa em um ponto da água.

Trajetória vista pela pessoa que soltou a pedra

Trajetória vista pela pessoa na água

2. Velocidade

Você já sabe que o estudo do movimento depende do referencial e que movimento é definido como a mudança de posição de um corpo. Uma vez que um objeto está em movimento para certo referencial, você poderá determinar a rapidez e a orientação desse movimento.

Para isso, você vai estudar o conceito de **velocidade**. Intuitivamente, a noção de velocidade, geralmente, leva em consideração apenas o valor numérico dessa velocidade, que chamamos de **rapidez**. É essa rapidez que permite avaliar quantos metros o objeto se desloca em cada segundo, por exemplo. Dessa forma, é possível diferenciar um movimento lento e outro rápido.

Porém, o conceito de velocidade tem mais características do que o de rapidez. Por isso, é importante que você tome muito cuidado quando for trabalhar com a velocidade!



Na ciência, a velocidade de um corpo possui três características básicas: valor numérico (rapidez); direção e sentido. A direção pode ser horizontal, diagonal, vertical; o sentido está ligado à orientação: para cima, para baixo, para a esquerda, para a direita.

Quando um objeto efetua um certo movimento, é possível determinar a chamada **velocidade média**. Esse conceito é muito importante para que se possam fazer previsões do tempo gasto em viagens e, com isso, estimar o gasto de combustível ou horário de chegada, por exemplo. Em uma viagem comum, a velocidade do objeto varia a todo momento. Assim, é muito difícil haver um movimento com uma velocidade essencialmente constante na maioria das nossas situações cotidianas. No entanto, é possível calcular uma velocidade que, se o corpo se deslocasse sempre com ela, o movimento seria realizado no mesmo intervalo de tempo. Essa velocidade é chamada de velocidade média.

A expressão matemática que representa a velocidade de um objeto é a razão entre o deslocamento efetuado por um corpo e o tempo gasto.

$$\text{velocidade média} = \frac{\text{deslocamento}}{\text{tempo gasto}}$$

$$v_m = \frac{d}{t}$$

Quando o estudo for restrito ao valor da velocidade média, sem fazer qualquer consideração à direção ou ao sentido, pode ser utilizado o termo **rapidez média**.

As duas unidades mais utilizadas são o **metro por segundo** (m/s) e o **quilômetro por hora** (km/h). É possível converter uma unidade para a outra. Para isso, você deve converter a unidade de distância (de quilômetro para metro ou vice-versa) e a de tempo (de hora para segundo ou vice-versa). Veja:

$$1,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1\,000\text{ m}}{3\,600\text{ s}} = \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Assim, $1,0 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$, o que deve ser usado para a conversão.

Por exemplo, durante a prova dos 100 metros rasos, um atleta de ponta costuma percorrer 100 metros em cerca de 10 segundos. Isso dá uma rapidez média de 10 m/s ou 36 km/h.



Lintao Zhang / Getty Images

Figura 6. Atletas na prova dos 100 metros rasos.

Um cuidado especial que você deve ter ao estudar a velocidade é com a linguagem. Em uma viagem comum, não há a preocupação em distinguir os conceitos de deslocamento e de distância percorrida. Para o cálculo de velocidade, no entanto, essa diferenciação é fundamental.

O **deslocamento** liga o ponto de partida ao ponto de chegada. Assim, não interessa qual é a trajetória seguida pelo móvel entre os pontos. Qualquer avião que saia do aeroporto de Brasília e chegue ao Galeão, no Rio de Janeiro, terá o mesmo deslocamento, mesmo se as rotas desses aviões forem diferentes.

Já a distância percorrida é o espaço que o móvel percorreu, medida sobre a sua trajetória. Veja que, nesse caso, se o avião percorrer uma trajetória maior, sua distância percorrida será, também, maior.

A figura a seguir mostra o que foi indicado. Se dois aviões saem de Palmas e se dirigem para Barretos por rotas diferentes, é possível que eles tenham distâncias percorridas diferentes. No entanto, os pontos de saída e chegada são os mesmos para as duas aeronaves, o que faz com que elas tenham deslocamentos iguais.



Figura 7. Dois aviões saem de Palmas e chegam a Barretos. Apesar de as distâncias percorridas serem diferentes, o deslocamento de ambas as aeronaves é o mesmo.

Quando você está em uma viagem, é possível que tenha de calcular somente a rapidez do movimento, sem levar em consideração o deslocamento que está sendo efetuado. Ademais, é o que dá para fazer, uma vez que a estrada indica a orientação do movimento.

Então, você deve verificar, nas placas de sinalização da estrada, a indicação das posições que está de um certo ponto arbitrariamente utilizado como início da contagem. Por meio dessas placas, você pode determinar a distância percorrida subtraindo a posição inicial da final. Se você dividir essa distância pelo tempo gasto na viagem, terá calculado a rapidez média do movimento, também chamada de velocidade escalar média.



Luciano_Queroz / Getty Images

Figura 8. Placa de sinalização da estrada.

TÁ NA MÍDIA



No QR Code ao lado, você verá quais são as maiores velocidades alcançadas por objetos produzidos pela humanidade.



REGISTRANDO



Escreva um parágrafo apresentando a sua ideia sobre a necessidade da existência de limites para os valores das velocidades em estradas e cidades.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



06. Em uma corrida de Fórmula 1, um piloto conseguiu realizar uma volta (5 000 m) em 1 minuto e 20 segundos. **DETERMINE** a velocidade escalar média do piloto ao final dessa volta.
07. Imagine que você deve efetuar uma viagem de 100 km e que a sua rapidez média, em todo o percurso, seja de 60 km/h.
Responda: somente com esses dados é possível determinar o tempo gasto nos primeiros 30 km de viagem? **JUSTIFIQUE** sua resposta.
08. Responda: você precisa de algum dado numérico para calcular a velocidade média do ganhador do grande prêmio de Fórmula 1 do Brasil no ano de 1978? **JUSTIFIQUE** sua resposta.
09. **APRESENTE** um exemplo prático em que o valor da velocidade média é igual ao da rapidez média.

3. Aceleração

Ao longo de um dado movimento, é comum que a velocidade do móvel sofra uma alteração. Toda vez que houver uma alteração na velocidade de um objeto (no valor, na direção ou no sentido), há uma aceleração.

Este é mais um termo no qual convém prestar atenção. Na linguagem cotidiana, utiliza-se o termo “aceleração” como sinônimo de aumento de velocidade. No entanto, para a ciência, o conceito de aceleração é mais amplo.

A **aceleração** representa a taxa de variação da velocidade. Essa variação pode ser no valor numérico (aumento ou diminuição), na direção ou no sentido. Assim, quando a velocidade de um carro aumenta ou diminui, há uma aceleração associada.

Não há uma grandeza física chamada desaceleração. Se você estiver em um carro cuja velocidade esteja aumentando, diminuindo ou mudando de direção, você sofrerá a ação de uma aceleração. A aceleração é assim definida:

$$\text{aceleração} = \frac{\text{variação da velocidade}}{\text{tempo gasto}}$$

A unidade utilizada é o metro por segundo ao quadrado (m/s^2), que indica quantos metros por segundo a velocidade varia a cada segundo que passa.

TÁ NA MÍDIA



Carros esportivos são famosos por conseguirem realizar grandes variações de velocidade em um curto intervalo de tempo. Veja, no QR Code ao lado, os recordes de aceleração positiva e negativa alcançados por um veículo esportivo.





PARA SABER MAIS

Valores suportados para acelerações

O corpo humano não é capaz de suportar variações muito bruscas de velocidade. Dizendo de outro modo, há um limite para a aceleração que o corpo humano é capaz de resistir. Esse limite depende de diversos fatores, como a duração da aceleração e do local em que ela é aplicada. É comum que as acelerações sejam comparadas com a aceleração da gravidade terrestre, cujo valor é próximo de 10 m/s^2 . Costuma-se representar esse valor pela letra g .

Quando a aceleração é aplicada na direção do comprimento da pessoa, pode causar variações na pressão arterial. Dependendo do sentido, a aceleração pode causar excesso ou falta de sangue no cérebro, dando a sensação de desconforto, como pode ser visto nas imagens. Um ser humano médio suporta até 50 m/s^2 ($5 g$) no primeiro caso e 30 m/s^2 ($3 g$) no segundo.

Se a aceleração for aplicada ao longo da espessura do corpo, o ser humano é capaz de suportar muito mais. O valor limite nesse caso chega a 170 m/s^2 ($17 g$) por alguns minutos sem perder a consciência. Nesse ponto, o recorde mundial de resistência foi obtido pelo coronel da Força Aérea dos Estados Unidos John Stapp, atingindo 462 m/s^2 ($42,6 g$).



Imagens do Coronel John Stapp durante o teste de resistência a acelerações.



ENTENDI

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

10. A seguir serão apresentadas três situações cotidianas. Para cada uma delas, **VERIFIQUE** se o objeto possui aceleração.
- A) Um avião durante a decolagem.
 - B) Uma gota de chuva caindo em linha reta com rapidez constante.
 - C) Um satélite que gira em torno da Terra.

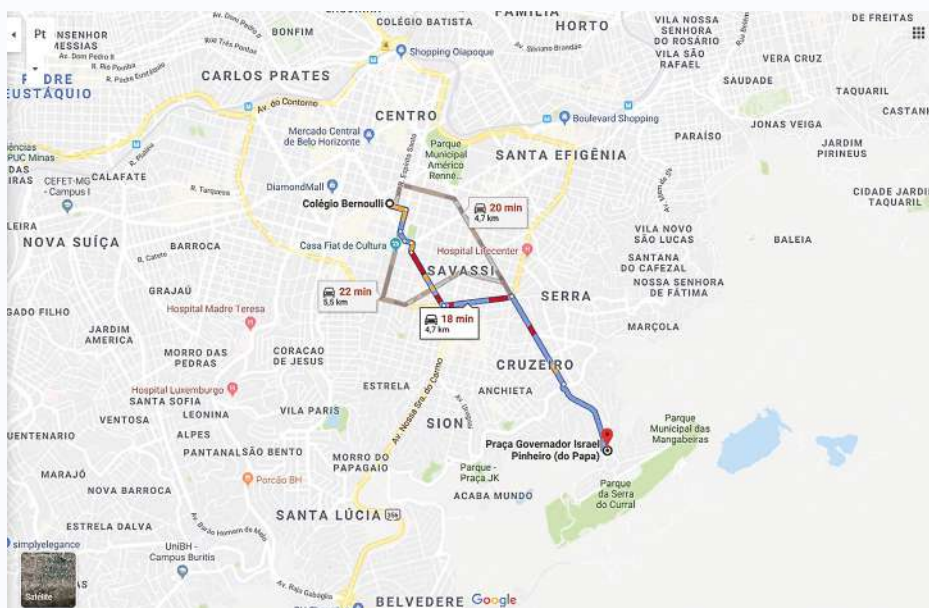
11. Um atleta, durante uma prova dos 100 metros rasos, atinge a rapidez de 10 m/s em 2 segundos. **CALCULE** a aceleração do atleta nesse curto período da prova.
12. Quando você salta para pegar uma bola, ao voltar ao chão, dobra os joelhos. Isso faz com que o tempo gasto para atingir a velocidade zero seja um pouco maior. **EXPLIQUE** como isso influencia a aceleração submetida a seu corpo.



PARA REFLETIR

Foram apresentados alguns conceitos (movimento, velocidade, rapidez, aceleração), cujos significados para a ciência são diferentes daqueles utilizados no cotidiano. Sabendo que todo automóvel apresenta, no seu painel, um componente chamado velocímetro, discuta sobre qual grandeza é apresentada pelo velocímetro do automóvel.

Ao colocar em um aplicativo de trânsito, como o da figura a seguir, uma rota da sua casa para a escola, o aplicativo calcula o tempo de trajeto com base na velocidade média ou na rapidez média? Discuta o assunto com seus colegas.



4. Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

Você já andou em uma escada rolante? Esse tipo de escada representa um conforto para as pessoas porque possui um motor elétrico que faz com que os degraus se desloquem com uma velocidade constante, seja durante a descida ou a subida.

Note que a velocidade dos degraus é constante na escada rolante, isto é, possui um valor, uma direção e um sentido constantes ao longo do percurso. Esse é um exemplo prático de um movimento retilíneo e uniforme. Nele, a velocidade é constante. Na verdade, é o único movimento em que a velocidade é constante. Em qualquer outro tipo de movimento, ocorre uma variação da velocidade.



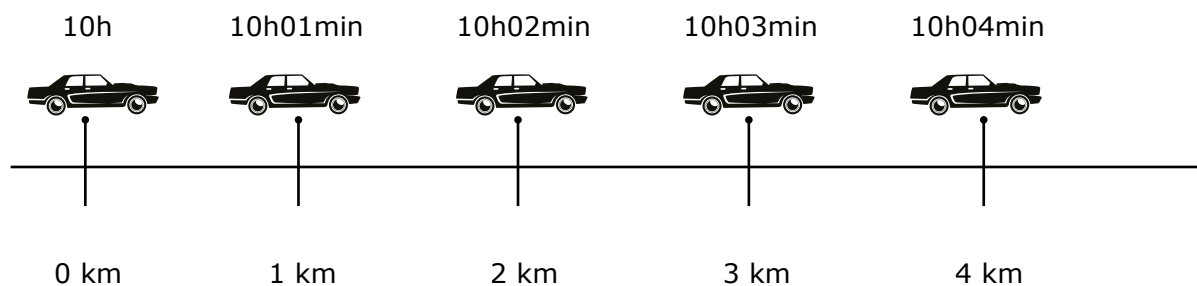
Classen Rafael / EyeEm / Getty Images

Figura 9. Exemplo de movimento retilíneo uniforme.

Em casos como esse, o corpo percorre espaços iguais em tempos iguais. Dessa forma, o valor da velocidade em qualquer ponto da trajetória é o mesmo valor da velocidade média.

No caso da figura 9, foram feitas 5 fotografias, sendo uma a cada minuto. Essas fotografias são apresentadas em uma mesma impressão, para dar a ideia do movimento que o carro faz em relação à pista. Você pode perceber que a trajetória do carro é retilínea e que ele se desloca 1 km a cada 1 minuto. Dessa forma, ele efetua um MRU, e a sua velocidade pode ser assim identificada, em relação a você:

- A) Rapidez: 1 km/min
- B) Direção: horizontal
- C) Sentido: da esquerda para a direita



Arquivo Bernoulli

Figura 10. Carro efetuando um movimento retilíneo uniforme.

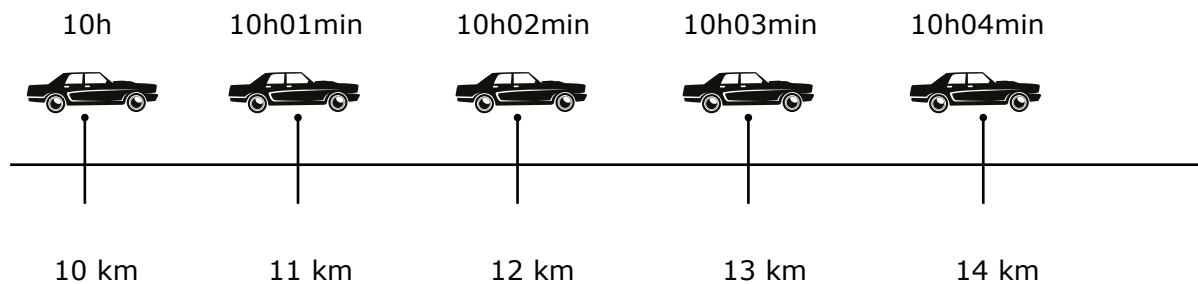
Sendo assim, é possível expressar a distância percorrida (d) pelo corpo até um certo instante (t) de tempo por: $d = v \cdot t$.

Voltando à figura 10, você pode conferir a validade dessa expressão. Lembre-se de que a rapidez do carro é 1 km/min.

- A) No instante $t = 10\text{h}$, o carro estava na posição zero.
- B) Após um intervalo de 1 minuto ($t = 1$), o carro se deslocou $d = vt = 1 \cdot 1 = 1 \text{ km}$.
- C) Após um intervalo de 2 minutos ($t = 2$), o carro se deslocou $d = vt = 1 \cdot 2 = 2 \text{ km}$.
- D) E, assim, sucessivamente.

Esses cálculos são válidos para qualquer MRU.

O que ocorreria, porém, se o carro tivesse iniciado o seu movimento em uma posição diferente de zero? Veja a figura a seguir:



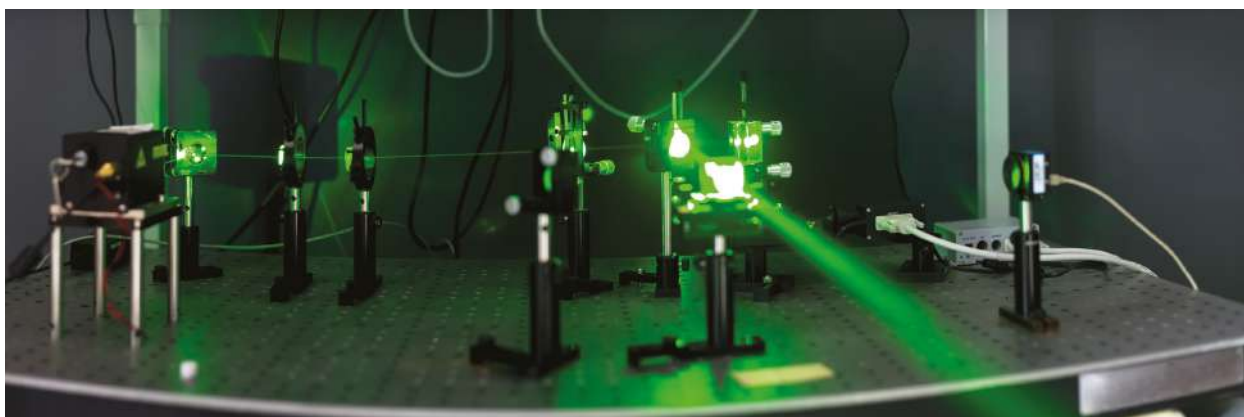
Arquivo Bernoulli

Figura 11. Carro efetuando um movimento retilíneo uniforme.

Você pode perceber, agora, que o carro iniciou o seu movimento a partir da posição 10 km. No entanto, a sua velocidade é a mesma de antes. Veja o que será modificado.

- A) No instante $t = 10\text{h}$, o carro estava na posição 10 km.
- B) Após um intervalo de 1 minuto ($t = 1$), o carro se deslocou $d = vt = 1 \cdot 1 = 1 \text{ km}$ e, com isso, atingiu a posição 11 km.
- C) Após um intervalo de 2 minutos ($t = 2$), o carro se deslocou $d = vt = 1 \cdot 2 = 2 \text{ km}$ e, com isso, atingiu a posição 12 km.
- D) E, assim, sucessivamente.

Há, na natureza e na tecnologia, alguns exemplos de movimentos retilíneos uniformes. Quando um feixe de luz é emitido por uma canetinha *laser*, cada parte desse feixe se propaga em MRU até que ele encontre outro meio de propagação que faça com que a luz sofra um desvio.



Vadimborkin / Getty Images

Figura 12. Feixe de *laser* que descreve um MRU.



Outro caso diz respeito a algumas situações de esteiras que transportam caixas em um centro de distribuição.



alvarez / Getty Images

Figura 13. Esteira que transporta embrulhos em MRU.

No seu cotidiano, no entanto, exemplos de MRU são menos numerosos do que os de movimentos acelerados. Lembre-se de que, para ser um MRU, a velocidade tem de ser constante em suas três características principais: a rapidez, a direção e o sentido.

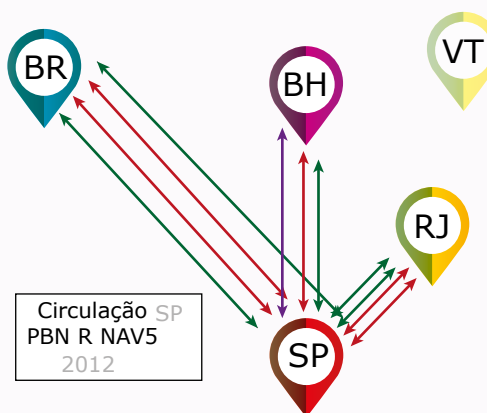
EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



RESOLUÇÕES NO
Bernoulli Play

ENTENDI

13. A luz, quando se propaga no vácuo, possui uma velocidade de $3,0 \cdot 10^8$ m/s. Essa é a velocidade com que a luz emitida pelo Sol viaja em direção à Terra. A distância entre a Terra e o Sol é de $1,5 \cdot 10^{11}$ m. **CALCULE** o tempo gasto pela luz para sair do Sol e chegar à Terra.
14. As rotas de avião entre as cidades de Brasília (BR), São Paulo (SP), Belo Horizonte (BH) e Rio de Janeiro (RJ) são praticamente retilíneas. Entre Brasília e São Paulo, a distância é de 850 km e o tempo de voo é de cerca de 1 h 30 min. Entre São Paulo e Belo Horizonte é de 490 km e o tempo de voo é de 1 hora. Considere que, em cada viagem, a rapidez do avião foi constante.



Arquivo Editora

INDIQUE em qual dos trechos a rapidez do avião foi maior.

15.
EXEJ

Thales tem uma rotina muito atarefada! Trabalha durante o dia, das 8h às 17h. Depois, vai para a faculdade, que fica a 70 km do seu local de trabalho. Ele consegue fazer o percurso trabalho-faculdade da seguinte forma: nos primeiros 30 km, ele desenvolve uma velocidade escalar constante de 60 km/h, e, nos 40 km restantes, ele desenvolve uma velocidade escalar de 80 km/h, também constante. A aula da faculdade começa às 19h e, antes do início da aula, Thales faz um lanche.

- A) **DETERMINE** o tempo máximo que Thales terá para lanche, considerando que ele chegará a tempo de assistir às aulas.
- B) **CALCULE** a velocidade escalar média de Thales no percurso trabalho-faculdade.

16.
SIKE

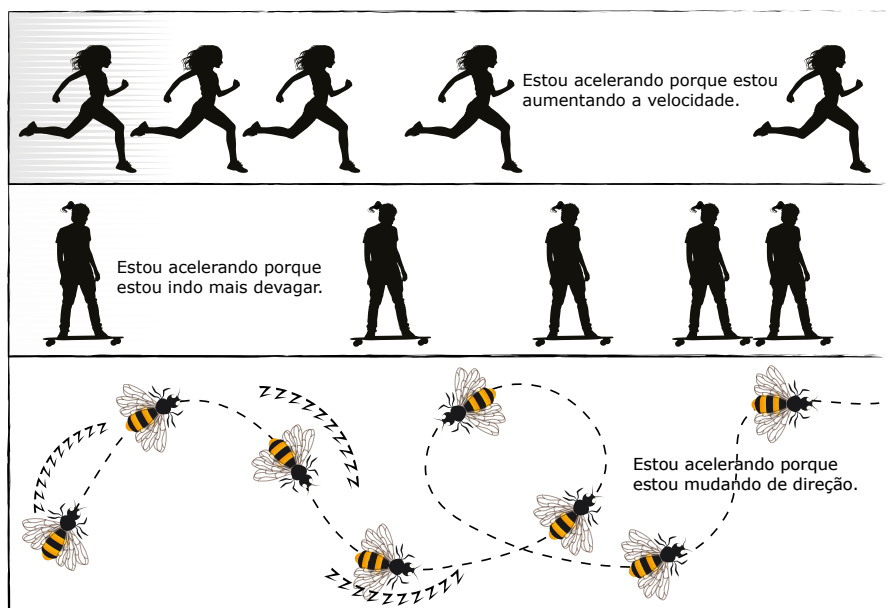
Um pesquisador observa formigas para saber seus hábitos de deslocamento. Ele escolhe uma formiga parada e dispara seu cronômetro quando esta começa a caminhar. Nota que a formiga se desloca com velocidade de valor constante de 5 cm/s durante 6 s; para por 2 s; volta para a origem com velocidade constante de 6 cm/s, onde para por mais 2 s. Em seguida, a formiga retoma o caminho inicial, com velocidade de 8 cm/s durante 5 s; diminui sua velocidade para 4 cm/s e segue com esta velocidade por mais 3 s, quando entra num buraco e desaparece.

Supondo que a formiga tenha se deslocado em linha reta, **CALCULE** a distância entre o buraco e o ponto de partida.

5. Movimento Acelerado

Ao ler o título deste tópico, você pensou que o tema de estudo são os movimentos em que a rapidez aumenta? Se sim, vale a pena rever o conceito de aceleração.

Um movimento é chamado de acelerado sempre que a velocidade do corpo sofrer uma alteração. Essa alteração pode ser na rapidez (aumentando ou diminuindo), na direção ou no sentido. Nesse sentido, o único movimento que não é acelerado é o MRU. Em todos os outros movimentos, ocorre alguma variação na velocidade e, com isso, existe aceleração.



Arquivo Bernoulli

Figura 14. Formas de alteração na velocidade.



Em relação a essa situação, você vai estudar dois grandes grupos de movimentos acelerados. O primeiro será aquele em que é a rapidez do movimento que é alterada. No segundo tipo, é a direção do movimento que muda. Lembre-se: genericamente, todos esses movimentos são chamados de acelerados porque são movimentos em que há aceleração uma vez que a velocidade do corpo sofre algum tipo de alteração.

5.1. Movimentos Retilíneos Variados

Em todo movimento retilíneo, a direção da velocidade é constante. Nesses casos, se o movimento for acelerado, é a rapidez que está sendo alterada. Essa alteração pode ser um aumento ou uma diminuição na rapidez. Lembre-se de que, nos dois casos, dizemos que o movimento é acelerado.

Então, você consegue construir um critério para saber se a rapidez aumenta ou diminui?

Veja o exemplo de um carro em movimento.

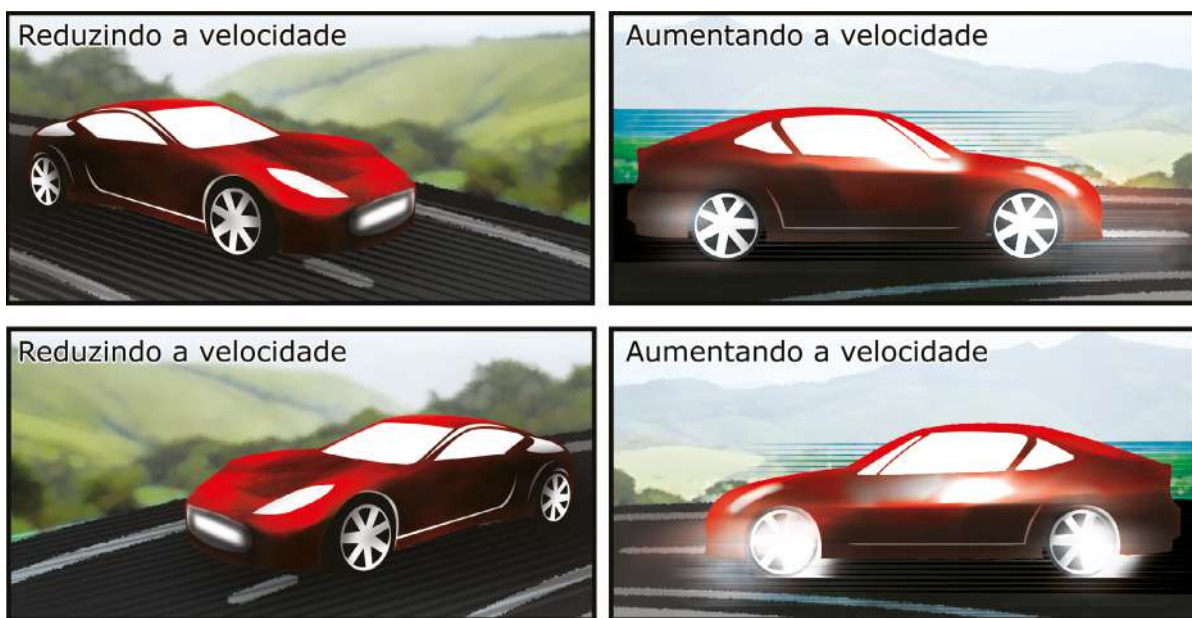


Figura 15. Situações práticas em que a rapidez aumenta ou diminui.

Para que a rapidez aumente, é necessário que o corpo fique sujeito a uma aceleração a favor de sua velocidade, ou seja, a velocidade e a aceleração estejam orientadas no mesmo sentido. Isso equivale a dizer que o corpo recebe um impulso no mesmo sentido em que já está se deslocando. Esse impulso age no sentido de aumentar a rapidez do movimento.

Já no caso de a velocidade e a aceleração terem sentidos opostos, a rapidez vai diminuir, já que o corpo está sendo puxado no sentido oposto ao de seu movimento.

Em ambas as situações, a aceleração mede o quanto a rapidez do corpo varia em cada unidade de tempo.

Isso é muito importante no significado dos movimentos acelerados. Um grande valor para a aceleração não significa, necessariamente, um grande valor para a rapidez e, sim, para a sua variação. Da mesma forma, uma aceleração de pequeno valor pode ser aplicada em objetos que possuam uma rapidez muito elevada.

Um exemplo muito interessante são os motores que usam propulsão iônica, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento. Esse tipo de motor é planejado para impulsionar naves espaciais e viagens interplanetárias. A aceleração produzida é muito baixa, da ordem de $0,01 \text{ m/s}^2$. No entanto, essa aceleração pode ser aplicada por um grande intervalo de tempo, o que poderia levar a nave a atingir 30 km/s de rapidez!

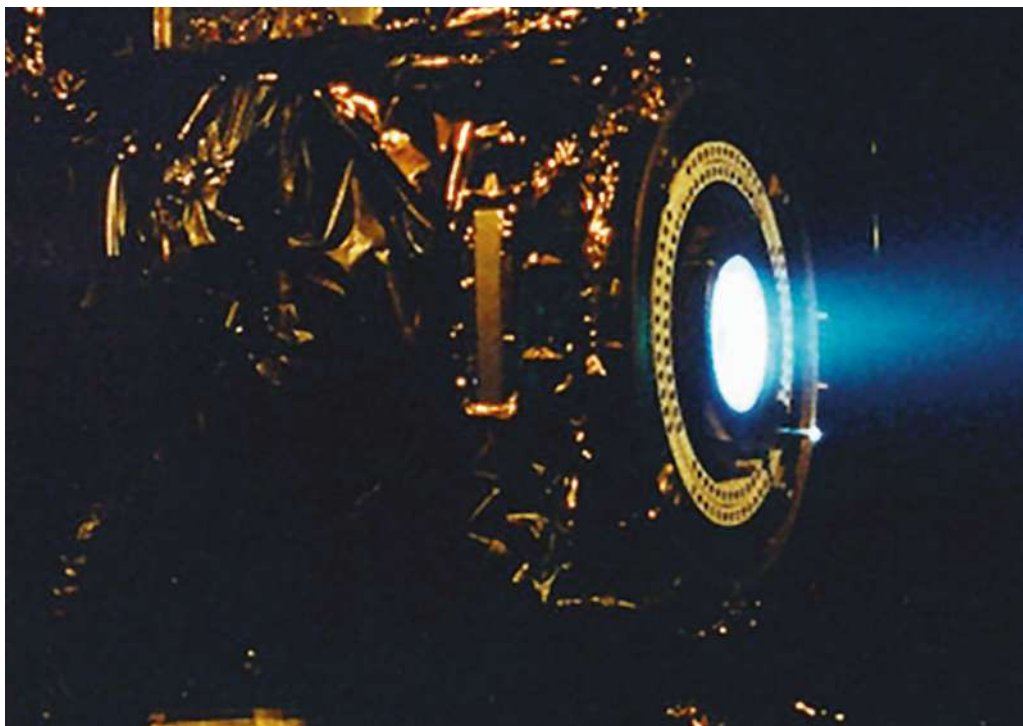


Figura 16. Motor a propulsão de íons.

O exemplo dos motores de íons revela, ainda, uma situação muito interessante: a rapidez varia com uma aceleração constante. Isso significa dizer que a rapidez varia (aumenta ou diminui) em quantidades iguais em cada intervalo de tempo igual. No caso do motor iônico, a velocidade da nave aumenta $0,01 \text{ m/s}$ em cada segundo de movimento. Imagine o tempo necessário para atingir a velocidade de 30 km/s ! Isso chega a mais de 34 dias!

Quando um determinado objeto está se deslocando em linha reta e a sua rapidez varia em quantidades iguais em cada intervalo igual de tempo, diz-se que ele se encontra em **movimento retilíneo uniformemente variado** (MRUV).

Pelo fato de a rapidez variar ao longo do movimento, a expressão matemática que relaciona o deslocamento efetuado ao longo do tempo é mais complexa do que aquela que você utilizou no MRU.

$$d = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Nessa expressão, v_0 representa a rapidez do corpo no início do movimento, e a é o valor da aceleração.

Além disso, você pode usar o próprio conceito de aceleração para determinar a rapidez do corpo em qualquer instante de tempo desejado. A expressão que pode ser usada é: $v = v_0 + a \cdot t$.



Um cuidado especial que você deve ter é o de diferenciar corretamente as situações em que a rapidez aumenta (quando a velocidade e a aceleração possuem o mesmo sentido) daquelas em que a rapidez diminui (quando a velocidade e a aceleração possuem sentidos opostos).

Para identificar esses sentidos, você vai usar os sinais positivo e negativo. Para mostrar que velocidade e acelerações possuem o mesmo sentido, você vai usar o mesmo sinal para substituir os valores nas funções (os dois positivos ou os dois negativos). No caso de terem sentidos opostos, você identifica isso usando sinais opostos para a rapidez e o valor da aceleração.

TÁ NA MÍDIA

Acesse este QR Code e veja como a posição, a velocidade e a aceleração influenciam o movimento variado. Além disso, é possível ver os gráficos dessas grandezas em função do tempo.



5.2. Movimentos Curvilíneos Uniformes


Em todos os movimentos em que a trajetória identificada for curva (circunferência, parábola, etc.), ocorre uma variação na direção da velocidade e, portanto, há uma aceleração que provoca essa variação. No entanto, se o movimento for uniforme, a rapidez é constante.

Isso ocorre, por exemplo, quando um carro faz uma curva em uma estrada, mas o velocímetro indica o mesmo valor o tempo todo.

Outro exemplo é o funcionamento de uma roda-gigante. Durante o tempo em que ela estiver girando (descontando os momentos em que ela está iniciando o movimento e parando), sua rapidez de giro é constante.



Artit Somsakul / Getty Images

 Figura 17. Roda-gigante.

Para compreender melhor a variação na direção da velocidade, você deve realizar a atividade experimental a seguir.



EXPERIMENTANDO

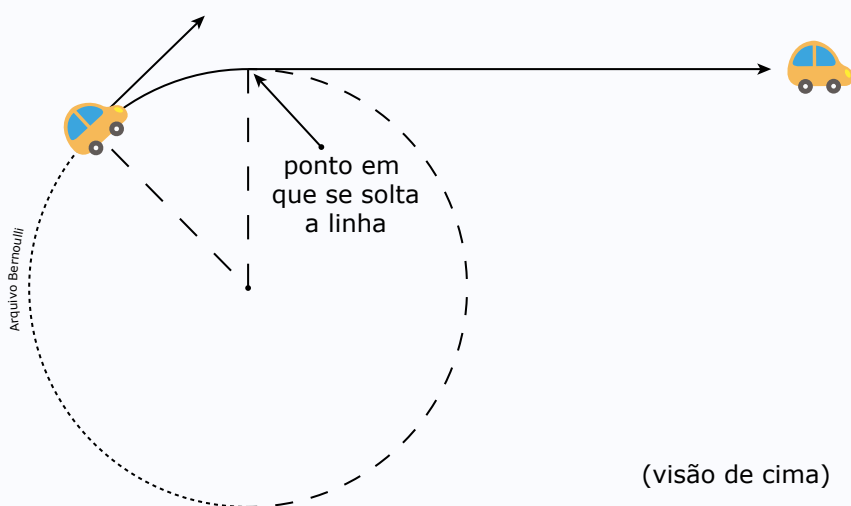
Verificação da direção da velocidade em um movimento circular

Materiais

- Um carrinho de brinquedo movido a pilha
- Um pedaço de 30 cm de barbante
- Uma folha de cartolina branca
- Uma canetinha hidrocor
- Uma régua

Procedimento

- Em primeiro lugar, cole a cartolina em uma superfície plana e horizontal (pode ser uma mesa ou o chão).
- Amarre o barbante na lateral do carrinho e prenda a canetinha hidrocor ao carrinho (usando uma fita crepe ou uma fita adesiva, fazendo com que a ponta dela possa tocar na cartolina).
- Segure firme a outra extremidade do barbante contra a cartolina e acione o carrinho. Com isso, a canetinha desenhará a trajetória circular do carrinho no papel.
- Com o carrinho em movimento, solte o barbante e veja o desenho que a canetinha realiza na cartolina.



Repita esse procedimento em diversos pontos diferentes.

Questões para discussão

1. Qual padrão é possível perceber nas diversas repetições do experimento?
2. Por que ocorre esse padrão?



A partir da realização desse experimento e da discussão dos resultados, você pode concluir que o carrinho segue o sentido de sua velocidade quando o barbante é solto. As linhas retas obtidas indicam, exatamente, a direção da velocidade do carrinho. Essas linhas são tangentes à trajetória circular. Perceba que, em cada momento, a direção da velocidade é diferente. Por isso, costuma-se dizer que a velocidade é tangente à trajetória e que, em um movimento curvilíneo, ocorre a modificação da direção da velocidade.

Como você já viu, a rapidez é constante. Assim, a aceleração presente não pode estar nem a favor da velocidade, nem contra ela. Nesse caso, a aceleração está orientada no sentido do puxão que o barbante exerce sobre o carrinho, ou seja, ela aponta, sempre, para o centro da trajetória (onde você está segurando o barbante).

Essa aceleração recebe, por isso, o nome de **aceleração centrípeta**, que significa, literalmente, aquela que aponta para o centro.

Existem, ainda, movimentos em que tanto a rapidez quanto a direção da velocidade variam. Nesses movimentos, as duas formas de aceleração estão presentes.



ENTENDI

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



17. A tabela a seguir mostra os valores da rapidez (em metro por segundo) de quatro corpos em intervalos de 1 segundo. Esses corpos deslocam-se em estradas retas.

Corpo	t = 0	t = 1 s	t = 2 s	t = 3 s	t = 4 s	t = 5 s	t = 6 s
A	0	2	4	6	8	10	12
B	20	17	14	11	8	5	2
C	0	2	6	12	20	30	42
D	0	12	22	30	36	40	42

De acordo com os dados da tabela, **IDENTIFIQUE**

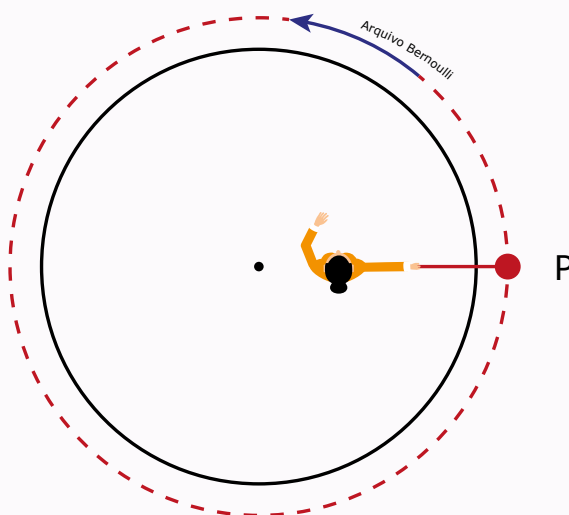
- A) os corpos cuja aceleração possui valor constante.
 - B) os corpos cuja aceleração possui o mesmo sentido da velocidade.
 - C) o corpo cujo valor da aceleração aumenta com o tempo.
 - D) o corpo cujo valor da aceleração diminui com o tempo.
18. Considere o motor de propulsão iônica citado no texto. Ele é capaz de fazer uma nave adquirir uma aceleração constante de $0,01 \text{ m/s}^2$. Imagine que essa aceleração faz com que a nave parta do repouso e atinja uma rapidez de 30 km/s . **CALCULE** o tempo necessário para a nave atingir tal rapidez.

- 19.** Um avião Airbus A380 impressiona por seu tamanho e pela potência de seus motores. Durante a decolagem, ele fica sujeito a uma aceleração cujo valor é de $1,0 \text{ m/s}^2$ até atingir a velocidade de decolagem que é de 78 m/s (cerca de 280 km/h).



- A) **CALCULE** o tempo necessário para que o Airbus A380 decole.
B) **CALCULE** o tamanho mínimo da pista para que o Airbus A380 decole.

- 20.** Uma criança está parada em uma plataforma de um brinquedo, que gira com rapidez constante. Ele segura um barbante, que tem uma pedra presa na outra extremidade, como mostrado nesta figura:



A linha tracejada, nessa figura, representa a trajetória da pedra, vista de cima.

Quando a criança passa pelo ponto P, indicado na figura, a pedra se solta do barbante. Desenhe, na figura, a trajetória da pedra após se soltar, vista de cima.




EXERCÍCIOS PROPOSTOS



ENTENDI

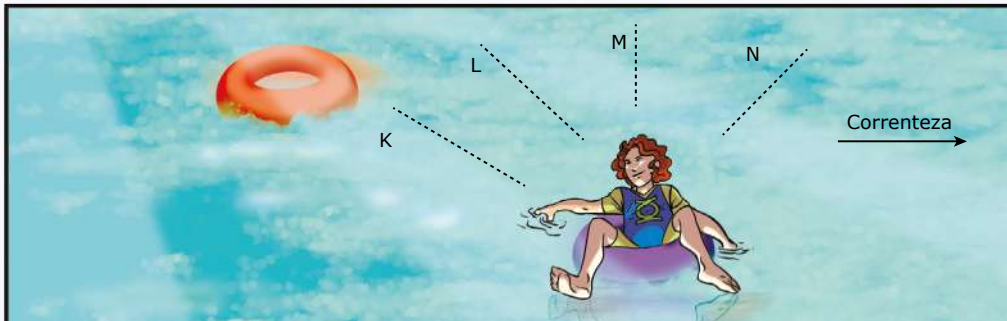
- 01.** Os conceitos de movimento e de repouso são relativos à adoção de certo referencial. Nesse sentido, não há um objeto que esteja em movimento ou em repouso para todos os referenciais. Sobre essa questão da relatividade do movimento, **JULGUE** a afirmativa a seguir.
- “Se um objeto A estiver em movimento em relação a outro objeto B e este estiver em movimento em relação a um terceiro objeto C, então A está em movimento em relação a C.”
- 02.** Durante muito tempo na História da humanidade, acreditou-se no modelo geocêntrico, segundo o qual a Terra está fixa no espaço e todos os corpos celestes giram em torno dela. Hoje, o modelo vigente é o heliocêntrico, que afirma que a Terra se move em torno do Sol, juntamente com os outros planetas do Sistema Solar. **IDENTIFIQUE** o referencial para cada um desses modelos.



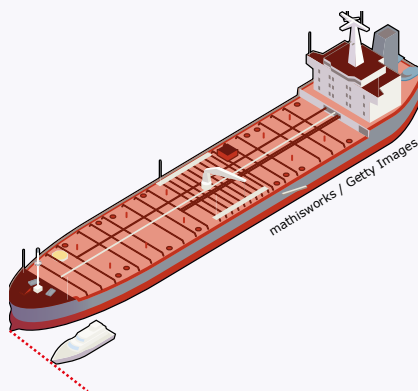
03. Durante um jogo de futebol, um jogador aplicou um drible chamado de "lençol". Quando um marcador veio em direção a ele, o habilidoso jogador chutou a bola para cima, que do ponto de vista do narrador da partida, descreveu uma trajetória parabólica, encobrindo o marcador. O jogador acompanhou todo o movimento da bola, que voltou para os seus pés pouco tempo depois. **DESCREVA** a trajetória da bola a partir do ponto de vista do jogador habilidoso.
04. Desejando diminuir o tempo gasto no processo de plantio em sua fazenda, um agricultor compra um trator considerado um dos mais eficientes no mercado. O manual de instruções da máquina diz que ela opera a uma velocidade constante de 6 km/h. Considere que o trator terá que percorrer 24 km por dia e que, antes de a máquina ser introduzida na fazenda, o tempo gasto para fazer o mesmo trabalho era de 10 h. **DETERMINE** o tempo ganho em um dia para fazer o trabalho com o uso do trator.
05. Em uma prova olímpica da Maratona, o atleta percorre 42 195 km em uma prova muito desgastante. O atual recordista mundial, o queniano Eliud Kipchoge, concluiu a Maratona de Berlim em um tempo de 2 h 01 min 39 s, em 2018. **DETERMINE** a rapidez média do queniano na prova. Para isso, você pode arredondar o tempo do atleta para 2 horas.
06. Uma caminhonete parte do quilômetro 1 de uma estrada e, meia hora depois, está no quilômetro 11. Sendo assim, **DETERMINE** a rapidez média desenvolvida pela caminhonete.
07. 6NEB
 Em uma estrada asfaltada, um ônibus viajou durante 2 horas com uma rapidez média de 60 km/h. Em seguida, em uma estrada de terra, o ônibus viajou mais 1 hora com uma rapidez média de 30 km/h.
A) **CALCULE** a distância total percorrida pelo ônibus.
B) **CALCULE** a rapidez média em toda a viagem.
08. ZRK6
 Cecília faz compras no *shopping* e sobe de um andar para outro em uma esteira rolante. O comprimento e a rapidez da esteira são $L = 6$ m e $v_E = 0,6$ m/s. Quantos segundos Cecília leva para subir de um andar ao outro se ela ficar parada na esteira? E se ela andar na esteira dando passos de 0,4 m a cada segundo?
09. Em geral, os carros de Fórmula 1 arrancam com grandes acelerações, mas freiam com acelerações ainda maiores. Na largada de uma corrida, um carro parte do repouso e atinge 180 km/h em 2 s. Ao chegar à primeira curva, essa rapidez cai para 36 km/h em 1 s.
A) **CALCULE** os valores das acelerações médias de arrancada e de frenagem desse carro.
B) **COMPARE** os valores obtidos na alternativa anterior com a aceleração da gravidade na Terra, que é $g = 10$ m/s².
10. 8L1T
 Durante a largada, um carro de Fórmula 1 parte do repouso e atinge uma rapidez de 180 km/h em 5 s. Nesse intervalo de tempo, considere que o movimento do carro seja uniformemente acelerado. **CALCULE**:
A) a aceleração do carro em m/s².
B) a distância percorrida em metros.

T E S T E S ✓

01. (UFV-MG) Um aluno, sentado na carteira da sala, observa os colegas, também sentados nas respectivas carteiras, bem como um mosquito que voa perseguindo o professor que fiscaliza a prova da turma. Das alternativas abaixo, a única que retrata uma análise **CORRETA** do aluno é:
- A) A velocidade de todos os meus colegas é nula para todo observador na superfície da Terra.
 - B) Eu estou em repouso em relação aos meus colegas, mas nós estamos em movimento em relação a todo observador na superfície da Terra.
 - C) Como não há repouso absoluto, não há nenhum referencial em relação ao qual nós, estudantes, estejamos em repouso.
 - D) A velocidade do mosquito é a mesma, tanto em relação aos meus colegas, quanto em relação ao professor.
 - E) Mesmo para o professor, que não para de andar pela sala, seria possível achar um referencial em relação ao qual ele estivesse em repouso.
02. (UFMG) Um menino flutua em uma boia que está se movimentando, levada pela correnteza de um rio. Uma outra boia, que flutua no mesmo rio a uma certa distância do menino, também está descendo com a correnteza.



- A posição das duas boias e o sentido da correnteza estão indicados na figura. Considere que a velocidade da correnteza é a mesma em todos os pontos do rio. Nesse caso, para alcançar a segunda boia, o menino deve nadar na direção indicada pela linha
- A) K.
 - B) L.
 - C) M.
 - D) N.
03. (UFMG) Um pequeno bote, que navega a uma velocidade de $2,0 \text{ m/s}$ em relação à margem de um rio, é alcançado por um navio, de 50 m de comprimento, que se move paralelamente a ele, no mesmo sentido, como mostrado nesta figura. Esse navio demora 20 segundos para ultrapassar o bote.



Ambos se movem com velocidades constantes. Nessas condições, a velocidade do navio em relação à margem do rio é de, aproximadamente,

- A) 0,50 m/s.
- B) 2,0 m/s.
- C) 2,5 m/s.
- D) 4,5 m/s.

04 (Mackenzie-SP) A distância média da Terra à Lua é $3,9 \cdot 10^8$ m. Sendo a velocidade da luz no vácuo igual a $3,0 \cdot 10^5$ km/s, o tempo médio gasto por ela para percorrer essa distância é de:

- A) 0,77 s.
- B) 1,3 s.
- C) 13 s.
- D) 77 s.
- E) 1 300 s.

05 (UFJF-MG) No Grande Prêmio de Mônaco de Fórmula 1 deste ano, o vencedor percorreu as 78 voltas completas do circuito em quase 1,5 h. Cada volta tem aproximadamente 3 400 m. Podemos concluir que

- A) o módulo da velocidade do carro esteve sempre acima de 100 km/h.
- B) o módulo da velocidade escalar média foi 177 km/h.
- C) o módulo da velocidade escalar média a cada volta foi aproximadamente 177 km/h.
- D) o módulo da velocidade escalar média do carro foi zero.

06 (Enem) Uma empresa de transporte precisa efetuar a entrega de uma encomenda o mais breve possível. Para tanto, a equipe de logística analisa o trajeto desde a empresa até o local da entrega. Ela verifica que o trajeto apresenta dois trechos de distâncias diferentes e velocidades máximas permitidas diferentes. No primeiro trecho, a velocidade máxima permitida é de 80 km/h e a distância a ser percorrida é de 80 km. No segundo trecho, cujo comprimento vale 60 km, a velocidade máxima permitida é de 120 km/h.

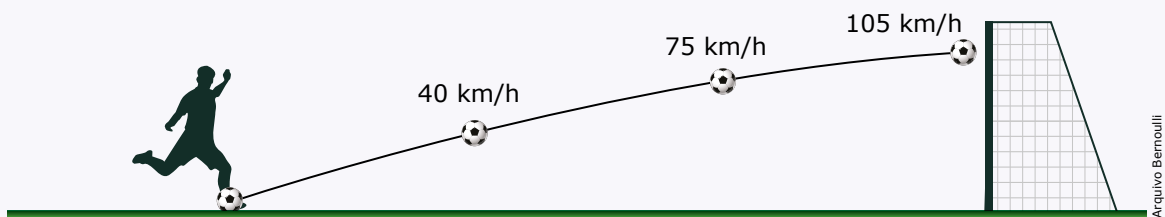
Supondo que as condições de trânsito sejam favoráveis para que o veículo da empresa ande continuamente na velocidade máxima permitida, qual será o tempo necessário, em horas, para a realização da entrega?

- A) 0,7
- B) 1,4
- C) 1,5
- D) 2,0
- E) 3,0

07. (ETEC-SP) Em 1977, a NASA enviou para o espaço a sonda Voyager I que, após realizar sua missão primária de passar próximo a alguns planetas do Sistema Solar, segue até hoje espaço afora. Atualmente, a sonda já se encontra bastante distante da Terra, a cerca de 20 000 000 000 km de distância. Mesmo a essa distância, a Voyager I se comunica com a Terra utilizando ondas eletromagnéticas que constituem a forma mais rápida de transporte de energia.

Considerando que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo, em termos de sua ordem de grandeza, é de 1 000 000 000 km/h, então, um sinal transmitido pela Voyager I será recebido aqui na Terra, aproximadamente, após

- A) 10 horas.
 - B) 20 horas.
 - C) 2 dias.
 - D) 5 dias.
 - E) 1 mês.
08. (UFV-MG) Um telejornal reproduziu o gol de um famoso jogador de futebol, assinalando, ao lado da trajetória, a velocidade instantânea da bola.

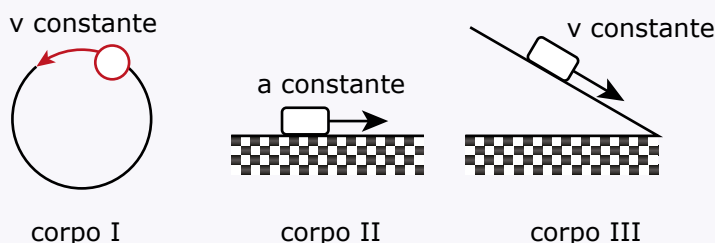


As velocidades atribuídas à bola estão

- A) erradas, pois a velocidade nula da bola ocorre no ponto mais alto de sua trajetória.
 - B) erradas, pois sua velocidade máxima ocorre no instante em que ela abandona o pé do jogador.
 - C) erradas, pois somente é possível atribuir à bola uma única velocidade, correspondente ao percurso total, e não a cada ponto da trajetória.
 - D) corretas, desde que a gravação da partida de futebol não seja analisada em "câmera lenta", o que compromete as medidas de tempo.
 - E) corretas, pois a bola parte do repouso e deve percorrer uma certa distância até alcançar a velocidade máxima.
09. (Mackenzie-SP) Na propaganda de um modelo de automóvel, publicada numa revista especializada, o fabricante afirmou que, a partir do repouso, esse veículo atinge a velocidade de 100 km/h em 10 s. A aceleração escalar média nessa condição é:
- A) 2,8 m/s²
 - B) 3,6 m/s²
 - C) 10 m/s²
 - D) 28 m/s²
 - E) 36 m/s²



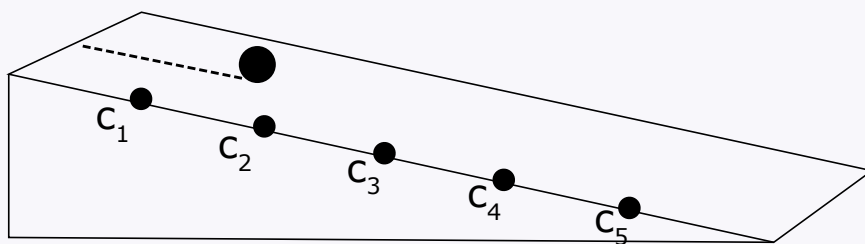
10. (Unesp) Um observador, fixo no solo, observa o corpo I descrevendo uma trajetória circular com rapidez v constante, o corpo II descrevendo uma trajetória retilínea sobre um plano horizontal com aceleração de valor a constante e o corpo III descrevendo uma trajetória retilínea com rapidez v constante, descendo um plano inclinado.



Arquivo Bernoulli

Nessas condições, a aceleração é diferente de zero

- A) no corpo I.
 B) no corpo II.
 C) no corpo III.
 D) nos corpos I e II.
 E) nos corpos I e III.
11. (UFMG) A figura mostra uma bola descendo uma rampa. Ao longo da rampa, estão dispostos cinco cronômetros, C_1, C_2, \dots, C_5 , igualmente espaçados. Todos os cronômetros são acionados, simultaneamente ($t = 0$), quando a bola começa a descer a rampa partindo do topo. Cada um dos cronômetros para quando a bola passa em frente a ele. Desse modo, obtêm-se os tempos que a bola gastou para chegar em frente de cada cronômetro.



Arquivo Bernoulli

A figura que melhor representa as marcações dos cronômetros em um eixo de tempo é:

- A) t
 B) t
 C) t
 D) t