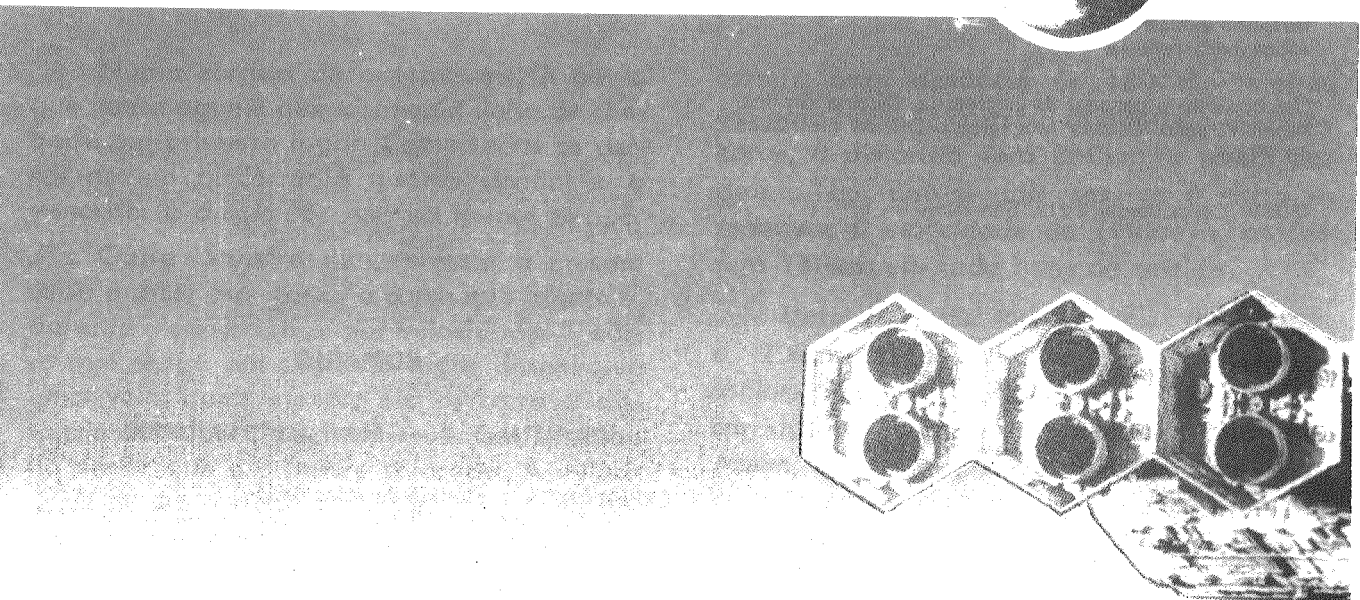
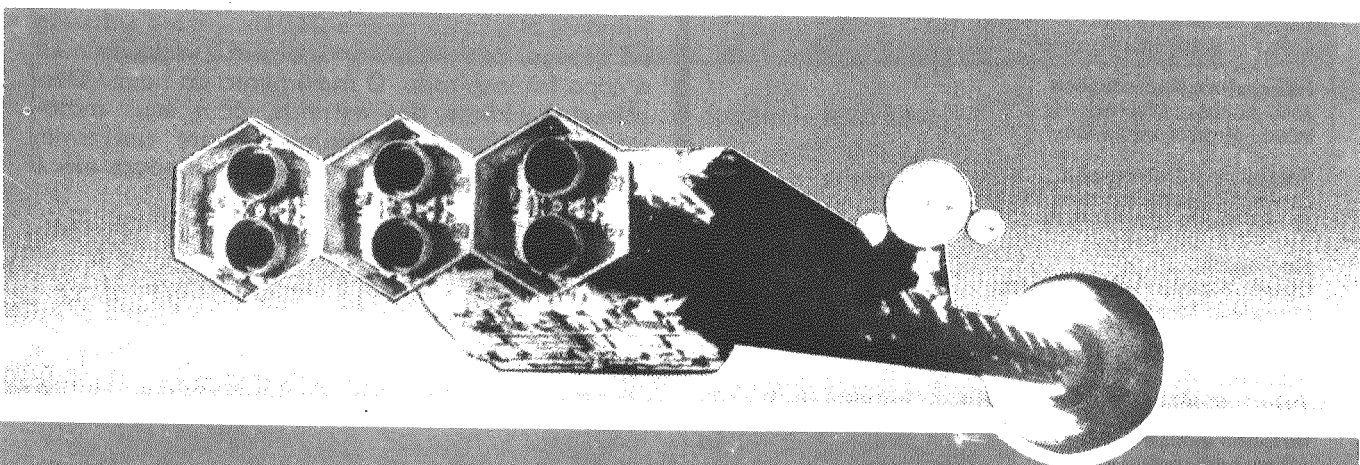
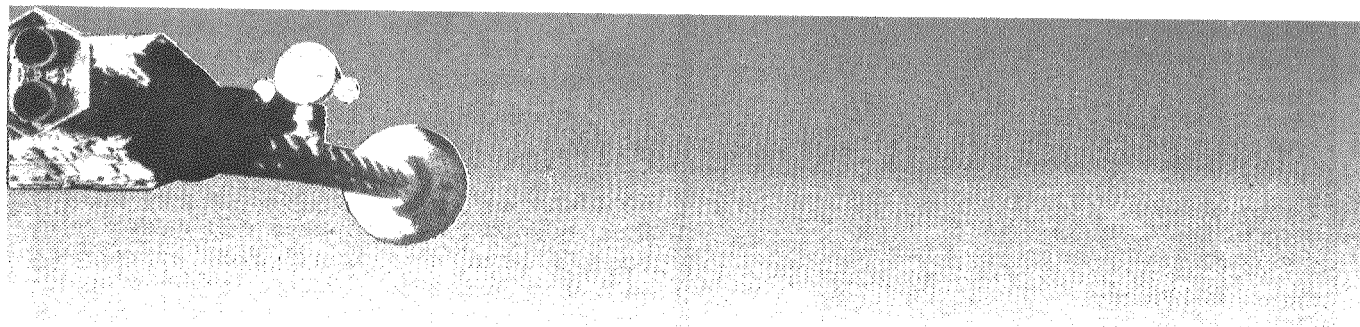


Mecânica

Movimento uniforme



MEC/FAE/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2.º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) mediante convênios com a FAE e o PREMEN.

Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger
Giorgio Moscati

Mecânica

Antonia Rodrigues
Antonio Geraldo Violin
Diomar da Rocha Santos Bittencourt
Hideya Nakano
Luiz Muryllo Mantovani
Paulo Alves de Lima
Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Elettricidade

Eliseu Gabriel de Pieri
José de Pinto Alves Filho
Judite Fernandes de Almeida

Eletromagnetismo

Jesuina Lopes de Almeida Pacca
João Evangelista Steiner

Programação Visual

Carlos Egidio Alonso
Carlos Roberto Monteiro de Andrade
Ettore Michele di San Fili Bottini
João Baptista Novelli Júnior

Fotografia e Reproduções

José Augusto Machado Calil
Washington Mazzola Racy

Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira
Janete Vieira Garcia Novo

Linguagem

Claudio Renato Weber Abramo
Maria Nair Moreira Rebello

Construção de Protótipos

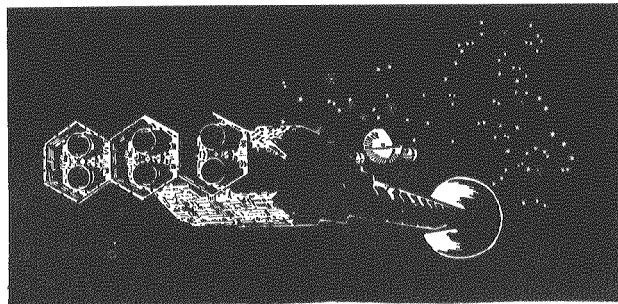
José Ferreira
Voanerges do Espírito Santo Brites

Desenho Industrial

Alessandro Ventura

Colaboraram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 8 219, São Paulo — SP



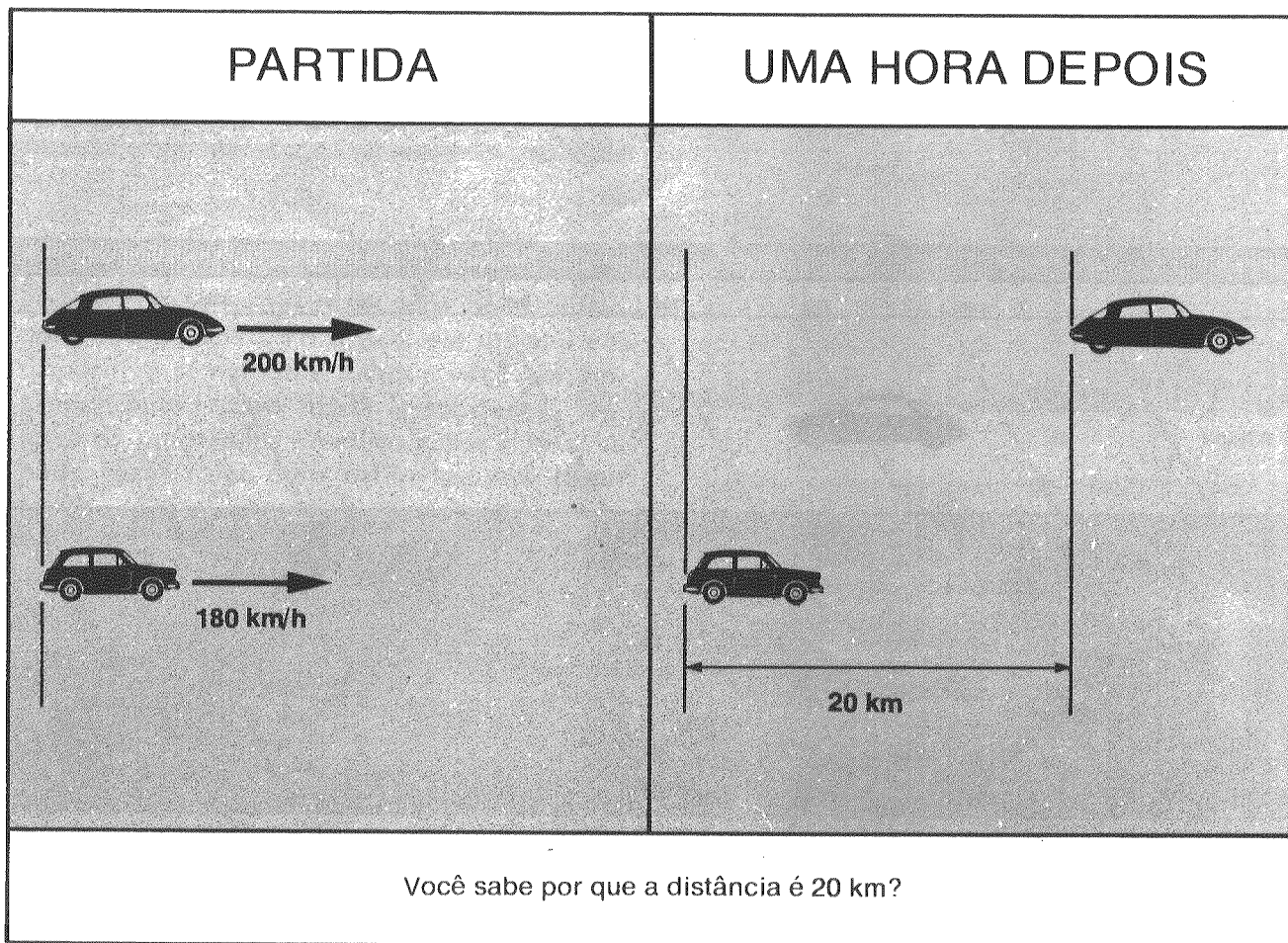
CAPA

“Houve apenas um longínquo e quase inaudível sibilo quando os jatos a plasma, de baixo empuxo, lançaram pelo espaço suas correntes eletrificadas. O suave impulso durou mais de quinze minutos e a aceleração era tão pequena que não impedia ninguém de mover-se pela cabina. Mas, quando cessou, a nave não estava mais ligada à Terra como quando ainda acompanhava a Estação Orbital. Quebrara as barreiras da gravidade terrestre e era agora um planeta livre e independente...” O trecho acima é do filme de ficção científica **2001 — Uma Odisséia no Espaço**, de A. C. Clarke e S. Kubrick, do qual a capa foi inspirada. O movimento da nave “Descoberta”, longe das estrelas, com seus motores desligados, é aproximadamente uniforme, uma vez que a força total exercida sobre ela é muito pequena, quase nula.

SUMARIO

CAPÍTULO 4 — Movimento uniforme

1. EXPERIÊNCIA — Medida da velocidade	4-3
2. A velocidade varia em AB?	4-4
3. Uma fotografia estroboscópica	4-6
4. O espaço em função do tempo	4-9
5. Exercícios de aplicação	4-12
6. Grandezas diretamente proporcionais	4-19



Movimento uniforme

Numa corrida de automóveis, é óbvio que vence aquele que alcança a linha de chegada em primeiro lugar. Como todos os carros devem percorrer a mesma distância, o vencedor é o que faz isso no menor tempo.

Outra maneira de expressar a mesma coisa é dizer que vence o carro que mantém, durante a corrida, a maior **velocidade**. O carro que chega em segundo lugar desenvolve uma velocidade menor; ele percorre a distância correspondente ao circuito em um tempo maior que o primeiro colocado. A velocidade de um carro é a relação entre a distância que ele percorre e o tempo gasto em percorrê-la. Se um carro permanece com a velocidade de 180km/h, por exemplo, per-

correrá uma distância de 180 quilômetros em uma hora de corrida; se o tempo for duas horas, a distância será 360km, e assim por diante. Em outras palavras, se o carro se mantiver à velocidade de 180km/h, percorrerá 180km em cada hora de corrida.

Um segundo automóvel, que corra a 200km/h, desenvolve uma velocidade maior, pois percorre 200km a cada hora de corrida, contra apenas 180km do primeiro. Assim, de modo geral, se considerarmos um certo intervalo de tempo — de uma hora, por exemplo —, a velocidade será tanto maior quanto maior for a distância percorrida nesse **intervalo**.

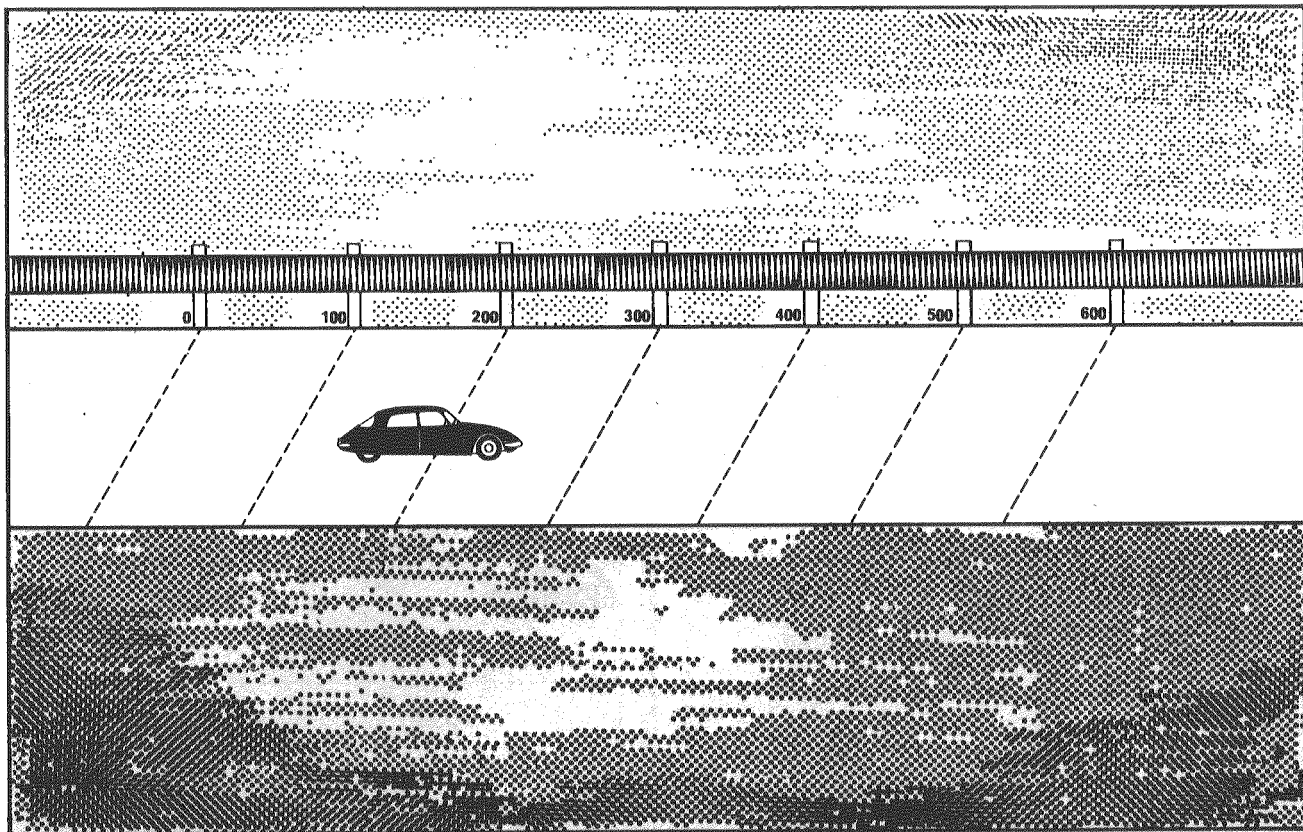


figura 1

Q1 — Um automóvel percorre 30km em 1/2 hora e outro percorre 120km em 2 horas. Qual deles desenvolve maior velocidade?

Q2 — Num longo trecho de viagem, a velocidade de um trem é constantemente igual a 80km/h. Determine quantos quilômetros o trem percorre em:

- a) 1/2 hora.
- b) 2 horas.
- c) 1 hora e 15 minutos.

A figura 1 mostra um carro percorrendo uma reta de 600 metros de comprimento, numa pista de corridas. Um cronometrista (pessoa encarregada de medir a velocidade do carro) pretende determinar a velocidade do automóvel no trecho de 200 a 500m. Para cumprir a tarefa, o cronometrista mede o tempo gasto pelo veículo para ir da bandeira de 200m à bandeira de 500m, e encontra 5,0 segundos. O piloto mantém constante a velocidade do carro em todo o trecho; isto é, em cada unidade de tempo, por exemplo,

um segundo, o carro percorre distâncias iguais.

Q3 — Qual a distância percorrida pelo carro em cada segundo?

Se o carro gastou 5,0 segundos para percorrer 300 metros, deve ter percorrido $300/5,0$ ou 60 metros em cada segundo. Sua velocidade no trecho considerado foi, então, 60 metros por segundo (60m/s).

Q4 — Quanto vale a velocidade do carro em km/h?

Não conseguindo responder a esta última pergunta, tente determinar quantos quilômetros o carro percorreria em uma hora (3.600 segundos), se mantivesse sempre constante a velocidade.

O valor da velocidade de um corpo é dado pela distância percorrida em cada unidade de tempo. A distância pode ser expressa em quilômetros, metros, centímetros, milímetros ou qualquer outra unidade de comprimento. O tempo pode ser dado em dias, horas, minutos, segundos, milímetros de areia, batimentos cardíacos, etc.

1. EXPERIÊNCIA

Medida da velocidade

As primeiras experiências sobre a queda dos corpos foram realizadas por Galileu, por volta de 1590. Para isso, ele utilizou um dispositivo semelhante ao que você vai empregar agora para medir velocidades. Trata-se de uma calha metálica sobre a qual se pode fazer rolar uma esfera de aço (figura 2).

Solte algumas vezes a bolinha na parte inclinada da calha e observe seu movimento. Mantenha a canaleta sempre bem limpa, para evitar que pó ou qualquer outro resíduo atrapalhe o movimento da bolinha.

Inicialmente, você irá medir a velocidade da bolinha no trecho horizontal da calha; para tanto, deverá fazer medidas de **espaço** e de **tempo**. As medidas de tempo deverão ser feitas com o mesmo cronômetro de areia que você utilizou no capítulo 3, e que deverá ser acionado por um dos membros de seu grupo.

Meça, com uma régua, o comprimento AB da parte horizontal da calha (figura 3).

Q5 — Qual é, em centímetros, o comprimento do trecho AB de sua calha?

Agora marque, com um lápis, o ponto P da parte inclinada da calha (figura 3); esse será o ponto a partir do qual você irá soltar a esfera.

Coloque a bola no ponto P, enquanto seu colega se prepara para acionar o cronômetro de areia. Ele deve ligar o instrumento quando a bola passar pelo ponto A, e desligá-lo quando ela atingir o ponto B. Colocando um obstáculo metálico em B, o som do choque da bolinha poderá ajudá-los a determinar com maior precisão o instante em que ela chega a esse ponto.

Q6 — Qual é, em milímetros de areia, o intervalo de tempo durante o qual a bolinha percorre a distância AB?

Use o gráfico de calibração de seu cronômetro (cap. 3, pág. 3-4) para converter

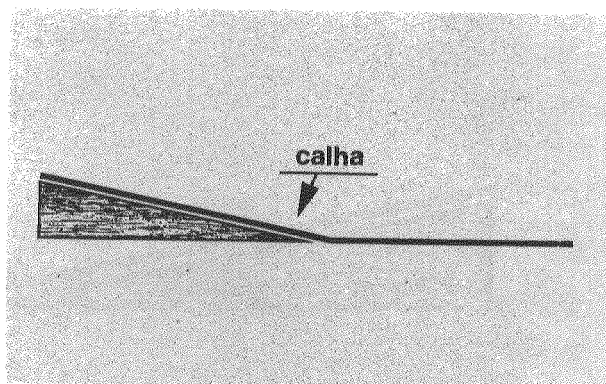


figura 2

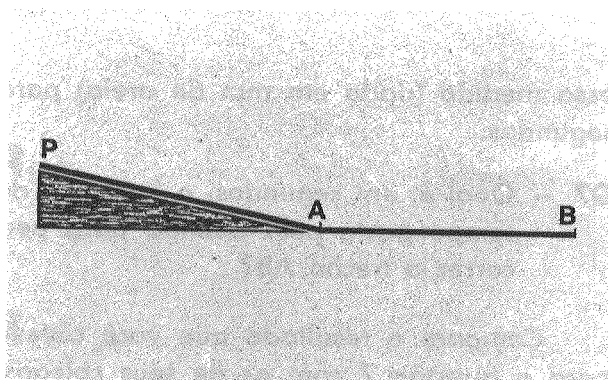


figura 3

RESPOSTAS

R₁ -

R₂ - a)

b)

c)

R₃ -

R₄ -

R₅ -

R₆ -

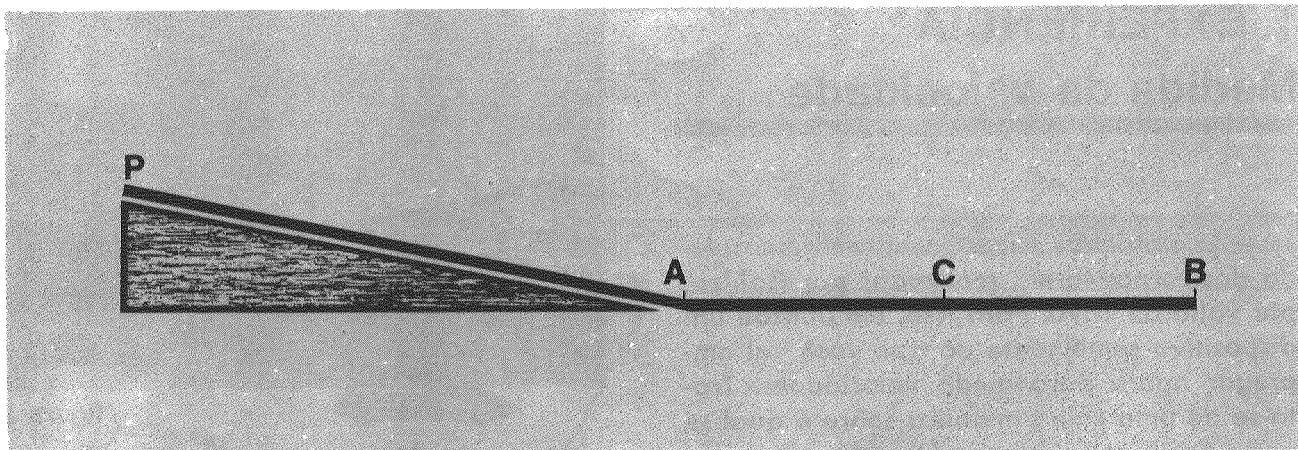


figura 4

essa medida (dada em mm de areia) para segundos.

Q7 — Qual é, em segundos, o intervalo de tempo gasto pela bolinha para percorrer o trecho AB?

Compare o resultado que você obteve para a questão 7 com os de seus colegas; em seguida, veja as respostas na página 4-8.

Você pode aumentar a precisão dessa medida fazendo vários lançamentos e depois tirando a média dos intervalos de tempo medidos; uma maneira ainda melhor de tornar mais preciso seu resultado é medir o intervalo de tempo total para 10 corridas do percurso AB. Dividindo esse intervalo de tempo por 10, você obterá com maior precisão o intervalo correspondente a uma única corrida.

Inicie por fazer a areia de seu cronômetro retornar ao índice zero. Por 10 vezes, abandone a bolinha no ponto P e meça o intervalo de tempo correspondente a cada corrida. Seu colega deve disparar o cronômetro a cada vez que a bola passar por A e interrompê-lo sempre que ela alcançar o ponto B. Dessa maneira, a areia escoada durante as 10 corridas ficará acumulada na parte inferior do cronômetro.

Se vocês cometerem algum engano, devem recomeçar tudo, não esquecendo de fa-

zer a areia retornar ao índice zero. Certifiquem-se de que a bola e a canaleta estejam bem limpas.

Q8 — Qual é, em segundos, a média dos intervalos de tempo necessária para que a bolinha percorra o trecho AB?

Q9 — Entre os resultados das questões 7 e 8, qual representa melhor o intervalo de tempo necessário para a bolinha percorrer o trecho AB?

Agora você conhece a distância AB e o intervalo de tempo necessário para que a bolinha a percorra. Isso lhe permitirá determinar a velocidade da bolinha nesse trecho; para isso, basta dividir a distância AB pelo intervalo de tempo encontrado na questão 8.

Q10 — Qual é a velocidade da bolinha no trecho AB?

Antes de prosseguir, compare e discuta seu resultado com os de seus colegas; compare também com as respostas da página 4-8.

2. A velocidade varia em AB?

Você vai agora verificar se a velocidade da bolinha no trecho AB é constante ou se, pelo contrário, ela varia. Para fazer isso, marque em sua calha o ponto C, que divide o trecho AB em duas partes iguais, AC e CB (figura 4).

Q11 — Quais são, em centímetros, os comprimentos dos trechos AC e CB?

Soltando a bola do ponto P, meça o intervalo de tempo necessário para que ela percorra o trecho AC; proceda da mesma forma como foi feito anteriormente, isto é, medindo o intervalo de tempo total de 10 corridas.

Q12 — Qual é, em segundos, o intervalo médio de tempo necessário para a bolinha percorrer o trecho AC?

Calcule a velocidade da bolinha no trecho AC, usando os dados obtidos nas questões 11 e 12.

Q13 — Qual é a velocidade da bola no trecho AC? Dê a resposta em cm/s.

Repita o mesmo procedimento para medir a velocidade da bola no trecho CB.

Q14 — Qual é a velocidade da bola no trecho CB? Dê a resposta em cm/s.

Q15 — Comparando os valores das velocidades nos trechos AB, AC e CB, você pode concluir que a bola teve **velocidade aproximadamente constante** em todo o trecho AB?

É provável que os valores que você obteve para as velocidades nos trechos AB, AC e CB não sejam exatamente iguais. Deve-se concluir então que a velocidade em todo o trecho AB não é constante? Se os valores obtidos diferem pouco entre si, por exemplo, de 5cm/s ou menos, então podemos dizer que, dentro da precisão das medidas, a velocidade em AB é constante. Se, por outro lado, as velocidades nos três trechos diferem muito entre si — de mais de 5cm/s —, então, você deve examinar a calha para verificar se não houve perturbações nas suas medidas. Alguns fatores que podem ter influído sobre o movimento são: falta de nivelamento da calha, pouca limpeza, erros grandes nas medidas de tempo, etc.

R₇ -

R₈ -

R₉ -

R₁₀ -

R₁₁ -

R₁₂ -

R₁₃ -

R₁₄ -

R₁₅ -

ESCALA: 1:6,7

CADA CENTÍMETRO DA FOTO
CORRESPONDE A 6,7 cm NO REAL

G F E D C B A

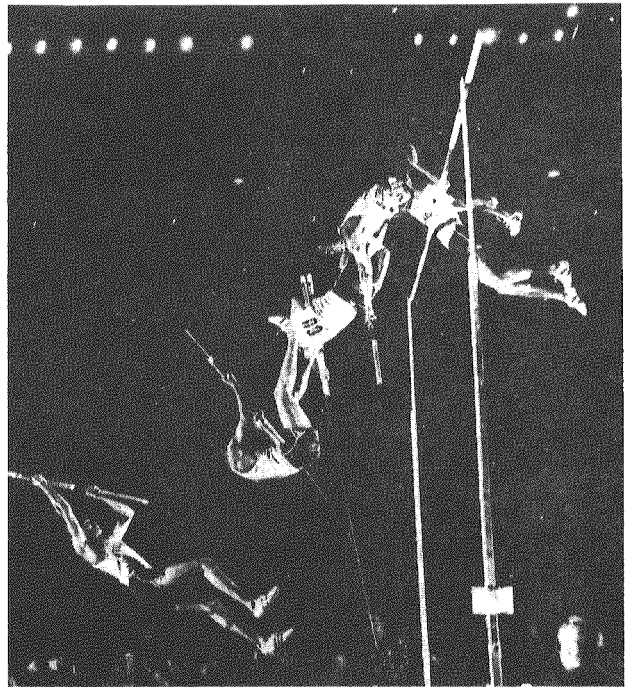
figura 5

3. Uma fotografia estroboscópica

Numa sala completamente escura, uma bolinha em movimento sobre uma calha semelhante à sua foi iluminada de modo especial: dispararam-se 15 relâmpagos (**flashes**) do tipo utilizado para fotografias, em intervalos de 0,12 segundo. O tempo durante o qual a bolinha foi iluminada, a cada relâmpago, foi muito curto, de apenas alguns milésimos de segundo.

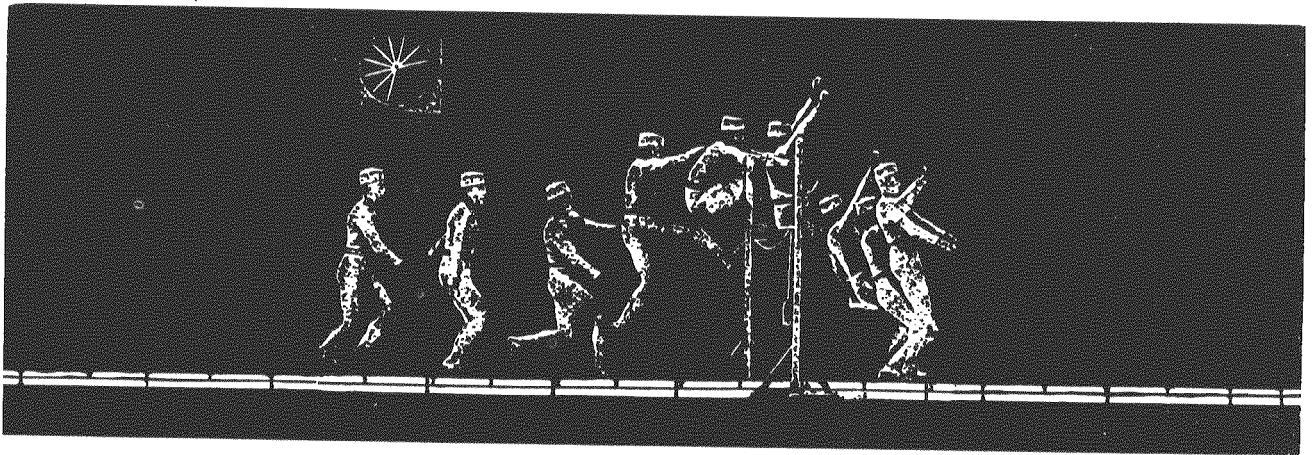
Uma pessoa que estava na sala notou que a bolinha percorreu uma distância de aproximadamente 1,1 metro desde o instante do primeiro **flash** até o instante do último; no entanto, ele só viu a bolinha nos instantes em que ela foi iluminada. A mesma técnica é utilizada pelos conjuntos de música jovem, que empregam uma lâmpada especial — **lâmpada estroboscópica** — para iluminar o ambiente de acordo com o ritmo da música. As pessoas parecem então executar movimentos "quebrados", como marionetes. Da mesma forma, a pessoa que observou a bolinha viu apenas 15 das posições que ela assumiu durante seu movimento sobre a calha.

Uma máquina fotográfica foi focalizada na calha, e se manteve aberto seu diafragma durante o tempo que durou a experiência. A fotografia obtida está reproduzida no alto desta página. Fotos desse tipo são conhecidas como **fotografias estroboscópicas**, ou de **múltipla exposição**.

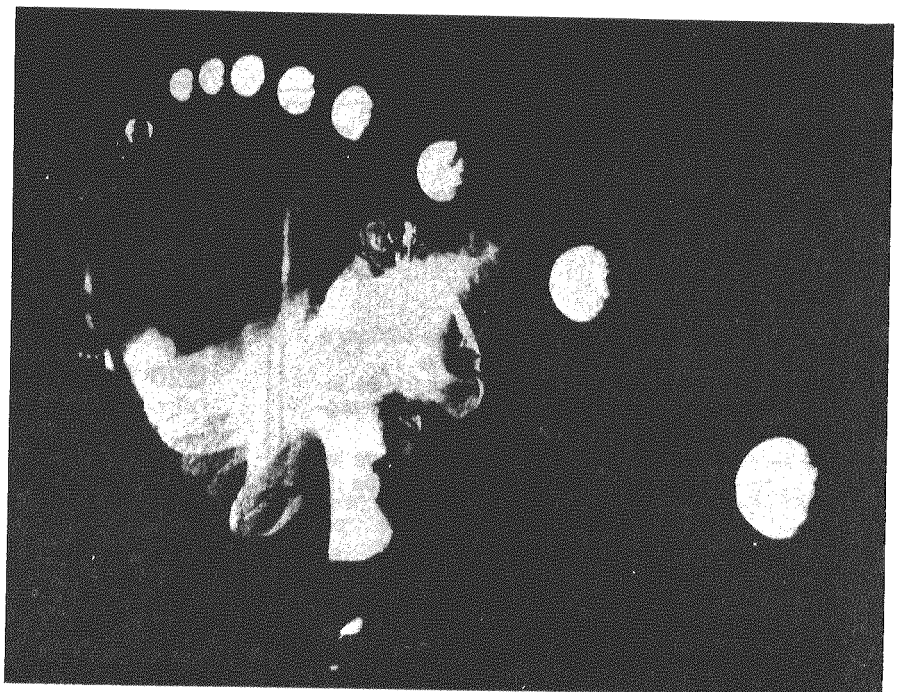


A técnica estroboscópica é muito útil para o estudo dos movimentos dos corpos, pois com ela se obtém o registro de posições sucessivas do móvel em instantes bem determinados; isso permite uma análise mais detalhada das diversas fases do movimento. No caso da figura 5, o intervalo de tempo entre dois instantâneos sucessivos (A, B, C, etc.) é de 0,12 segundo. Cada 1,0cm na foto corresponde a 6,7cm no tamanho real.

Você vai agora utilizar essa fotografia para, com o auxílio de uma régua, repetir o estudo que fez com a calha. Desta vez, os resultados serão melhores, pois os instantes da foto foram determinados automaticamente, diminuindo assim erros na medida do



As primeiras fotografias estroboscópicas foram tiradas por J. Marey, em 1822; uma delas — "homem branco sobre fundo negro" — está reproduzida acima. Ele as chamou de cronofotografias e afirmou que eram documentos estritamente científicos para o estudo do movimento. Por meio de uma foto estroboscópica, estudaremos o movimento de uma bolinha, que desce rolando uma calha (página ao lado, em cima). Ao lado, o movimento de uma bola lançada por um jogador de beisebol; movimento este registrado por meio de 9 *flashes* disparados consecutivamente, em intervalos de tempo iguais. O registro do salto de vara foi obtido utilizando-se a iluminação de uma lâmpada especial — lâmpada estroboscópica.



tempo; erros ainda poderão ocorrer nas medidas feitas com a régua.

RESPOSTAS

- Q16** — Qual é, em segundos, o intervalo de tempo decorrido entre as passagens da bola pelas posições A e G registradas na foto?
- Q17** — Qual é, em centímetros, a distância real percorrida pela bolinha nesse intervalo de tempo? Não se esqueça que cada centímetro da fotografia corresponde a 6,7cm na calha real.
- Q18** — Qual é, em cm/s, a velocidade da bolinha no trecho AG?

R₁₆ -

R₁₇ -

R₁₈ -

- R1 — Os dois carros desenvolvem a mesma velocidade. Ambos percorrem 60km em 1 hora.
- R2 — a) 40km; b) 160km; c) 100km.
- R3 — 60m.
- R4 — 216km/h.
- R5 — A distância AB deve estar entre 69,0cm e 70,0cm.
- R6 — Depende do cronômetro utilizado, da inclinação da calha, posição de P e do segmento AB.
- R7 — Para calhas fabricadas com ângulo de inclinação de 4°, comprimento da rampa de 30,0cm e comprimento AB igual a 70,0cm, o tempo deve situar-se entre 1,7s e 1,9s; esse valor depende ainda da localização do ponto P.
- R8 — Um valor entre 1,7s e 1,9s; valem as considerações feitas em R6.
- R9 — A média é sempre o melhor resultado de uma série de medidas; portanto, o resultado da questão 8 dá com maior precisão o intervalo de tempo necessário para a bolinha percorrer o trecho AB.
- R10 — Um valor entre 38cm/s e 40cm/s; valem as considerações de R6.
- R11 — Os comprimentos dos dois trechos devem ser iguais, medindo cada um metade de AB.
- R12 — Um valor entre 0,8s e 1,0s, valendo as considerações de R6.
- R13 — Um valor entre 38cm/s e 40cm/s; veja R6.
- R14 — Um valor aproximadamente igual a R13.
- R15 — Você deve ter obtido três velocidades quase iguais. Assim, dentro da precisão das medidas, a velocidade da bola no trecho AB é constante.
- R16 — 0,72s.
- R17 — 66cm.
- R18 — 91cm/s. Sua medida pode diferir desta de até 3cm/s para mais ou para menos.

trechos	espaço (cm)	velocidade (cm/s)
AB		
BC		
CD		
DE		
EF		
FG		

tabela 1

- Q19 — Determine as distâncias reais entre as posições sucessivas registradas na fotografia estroboscópica. Preencha, com esses dados, a primeira coluna da tabela 1.
- Q20 — Quais são as velocidades da bolinha nos trechos AB, BC, CD, DE, EF e FG? Não se esqueça que o intervalo de tempo entre instantâneos sucessivos é de 0,12s. Preencha a segunda coluna da tabela 1 com esses dados.
- Q21 — Analisando a tabela 1, você pode dizer que a velocidade da bolinha é constante em todo o trecho AG?

Compare esta resposta com a da questão 18 e verifique se há concordância de resultados.

Na verdade, a velocidade da bolinha não é constante no trecho horizontal; se a calha fosse suficientemente longa, a bolinha acabaria por parar, devido ao atrito — de eliminação impossível — existente entre ela e a calha. Entretanto, o que se imagina é que, se não houvesse atrito, se a calha fosse perfeitamente horizontal e se não houvesse resistência do ar ao movimento da bolinha, sua velocidade seria constante. Foi esse tipo de raciocínio que conduziu Galileu ao chamado "princípio da inércia", que será estudado em um dos próximos capítulos.

	espaço (cm)	tempo (s)
AA	0	0
AB		
AC		
AD		
AE		
AF		
AG		

tabela 2

4. O espaço em função do tempo

O estudo dos movimentos é facilitado pela utilização de gráficos. E você vai agora utilizar um gráfico para estudar o movimento da bola no trecho horizontal da calha. Nesse gráfico você relacionará o **espaço**, isto é, a distância percorrida pela bola, com o **tempo** gasto em percorrê-la. Para isso, é necessário fazer uma tabela com essas duas grandezas.

Determine, na fotografia estroboscópica da figura 5, os espaços reais correspondentes aos trechos AB, AC, AD, AE, AF e AG. Preencha, com os resultados dessas medidas, a coluna dos espaços na tabela 2. Determine os intervalos de tempo gastos pela bolinha para percorrer essas distâncias; preencha a coluna dos tempos na tabela 2 com esses dados.

Q22 — Por que a linha AA da tabela 2 está preenchida com os dados $t = 0$ e $e = 0$?

Utilize os dados da tabela 2 para traçar, na figura 6, o gráfico do espaço em função do tempo ($e \times t$). Tal gráfico deve ser uma reta. Ele nos permite determinar o intervalo de tempo necessário para que a bolinha percorra um espaço qualquer e, reciprocamente, achar o espaço percorrido num

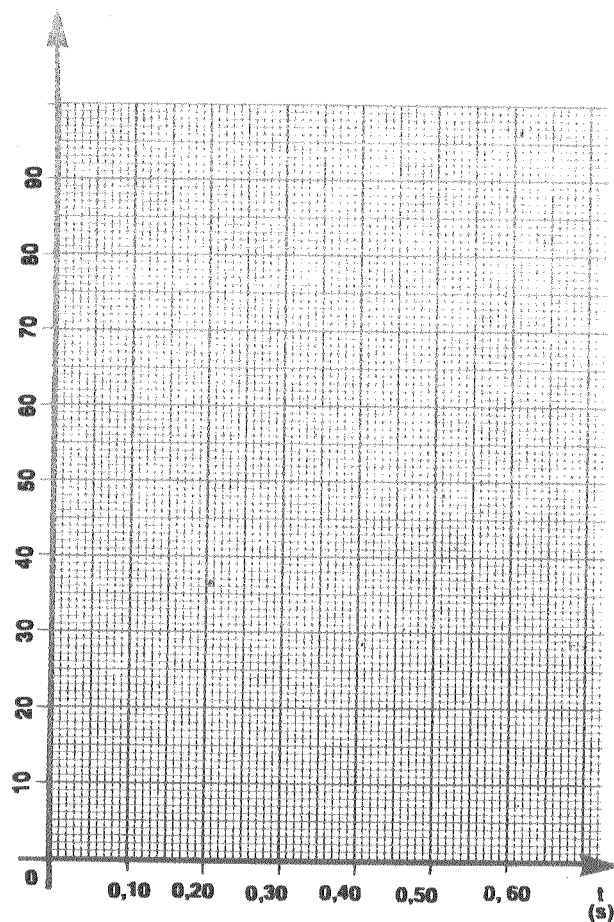
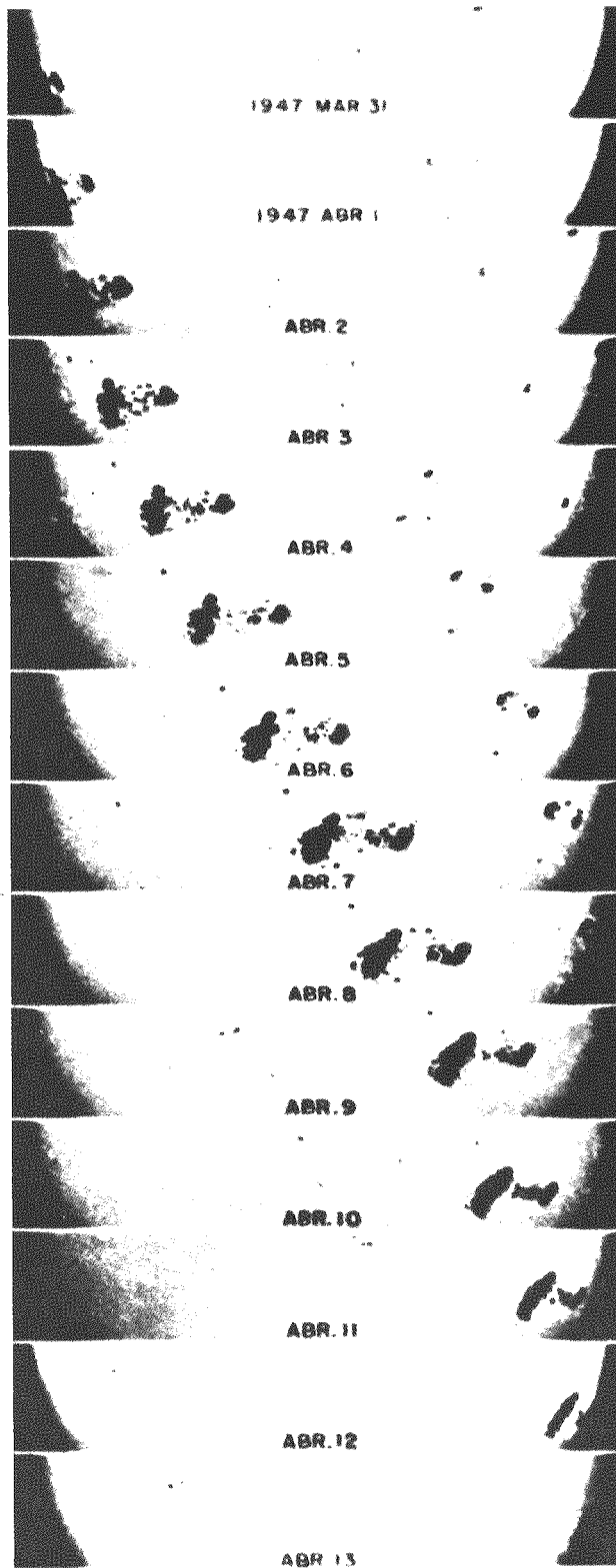


figura 6

RESPOSTAS

R₂₁ -

R₂₂ -



Seqüência fotográfica do grande grupo de manchas solares observado em 1947, tirada um dia após outro. Surgem, às vezes, em grande número, como ocorreu em abril de 1947 e desaparecem após algum tempo. Elas parecem regiões escurecidas, apesar de serem realmente muito luminosas, devido ao contraste com o resto da superfície solar. O período do Sol em torno de seu eixo foi determinado a partir da observação de seus movimentos regulares.

4 - 10

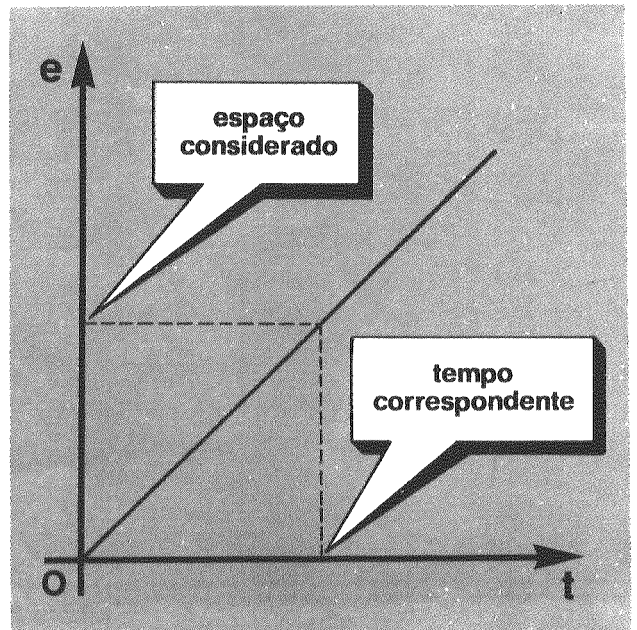


figura 7

intervalo de tempo determinado (figura 7).

O gráfico do espaço percorrido por um móvel em função do tempo permite o estudo completo do movimento desse móvel. Se você não tivesse uma fotografia estroboscópica desse movimento nem a tabela, mas lhe fosse dado um gráfico do espaço em função do tempo, poderia estudar todas as fases do movimento e determinar as velocidades do móvel nessas fases.

Q23 — Determine, pelo gráfico, os espaços percorridos pela bolinha desde o instante $t = 0$ (passagem pelo ponto A) até os instantes $t_1 = 0,12s$, $t_2 = 0,46s$ e $t_3 = 0,70s$ respectivamente.

Q24 — Ainda pelo gráfico, determine os instantes correspondentes às distâncias 15,1cm, 35,0cm e 58,0cm.

Q25 — Quais são os valores das velocidades da bolinha nos intervalos de tempo da questão 23?

Q26 — Esses valores são iguais?

As velocidades são obtidas dividindo os espaços percorridos pelos intervalos de tempo correspondentes:

RESPOSTAS

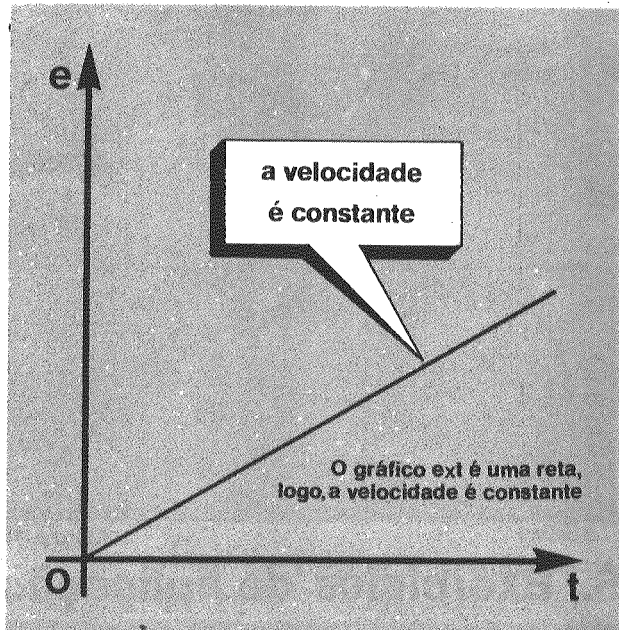


figura 8

$$\text{velocidade} = \frac{\text{espaço}}{\text{tempo}}$$

Isso pode ser escrito abreviadamente

como $v = \frac{e}{t}$, relação esta que permite cal-

cular a velocidade do móvel conhecendo-se a distância percorrida e o tempo gasto em fazê-lo. Por outro lado, usando essa relação você pode, conhecendo a velocidade do móvel, calcular o espaço percorrido em um determinado intervalo de tempo ou então calcular o tempo, dado o espaço.

Q27 — Utilize a relação $v = e/t$ para calcular os espaços percorridos pela bolinha desde o instante $t = 0$ até os instantes da questão 23. Admita que a velocidade constante é 92cm/s.

Q28 — Esses resultados concordam com os obtidos na questão 23?

Observe que, neste caso, a velocidade da bola era constante e o gráfico do espaço percorrido em função do tempo foi uma reta. De modo geral, sempre que o gráfico espaço x tempo for uma reta você poderá afirmar que a velocidade do corpo é constante (figura 8). Nesse caso, dizemos que o movimento é uniforme.

R₂₃-

R₂₄-

R₂₅ -

R₂₆-

R₂₇-

R₂₈-

figura 10

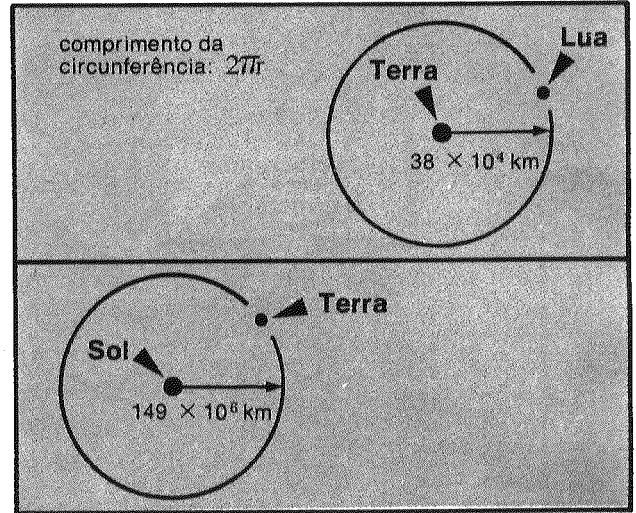


figura 11

5. Exercícios de aplicação

R21 — Como as velocidades obtidas são muito próximas entre si, podemos considerar que, dentro da precisão das medidas, a velocidade é constante em todo o trecho AB.

R22 — Porque o espaço percorrido num intervalo de tempo nulo é igual a zero.

R23 — $d_1 =$ um valor entre 10,5cm e 11,5cm.

$d_2 =$ um valor entre 41,0cm e 42,5cm.

$d_3 =$ um valor entre 63,0cm e 64,5cm.

R24 — $t_1 =$ um valor entre 0,165s e 0,175s.

$t_2 =$ um valor entre 0,375s e 0,385s.

$t_3 =$ um valor entre 0,625s e 0,635s.

R25 — $v_1 =$ um valor entre 90cm/s e 93cm/s.

$v_2 =$ um valor entre 90cm/s e 93 cm/s.

$v_3 =$ um valor entre 90cm/s e 93cm/s.

R26 — Sim, esses valores são iguais.

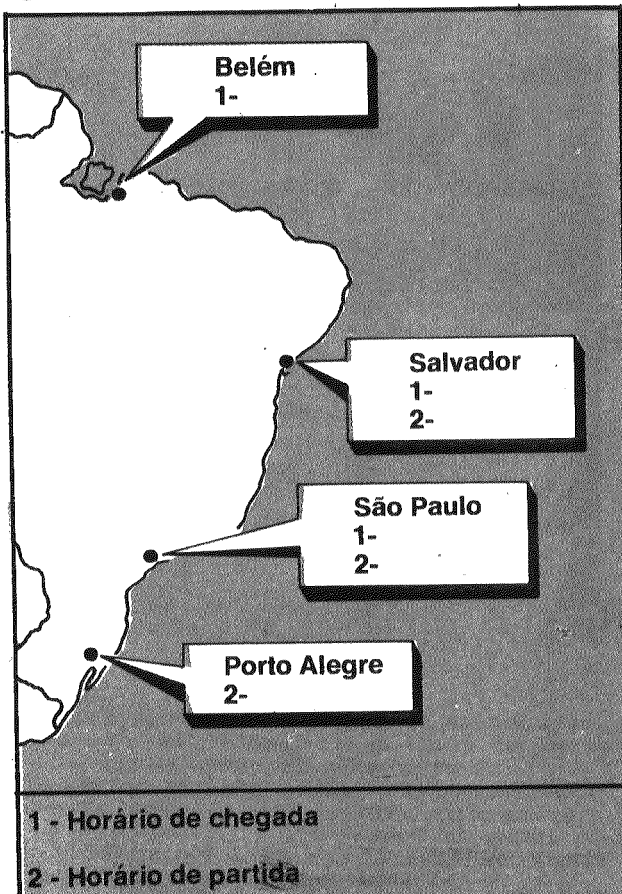
R27 — $d_1 = 11\text{cm};$

$d_2 = 42\text{cm};$

$d_3 = 64\text{cm}.$

R28 — Eles concordam, dentro da precisão das leituras efetuadas no gráfico.

figura 9



E1 — Um avião a jato desenvolve velocidade de 900km/h. Parte de Porto Alegre às 6 h da manhã e faz escalas nas seguintes cidades: São Paulo, Salvador e Belém.

As distâncias, em quilômetros, entre essas cidades são as seguintes:

Porto Alegre—São Paulo	850
São Paulo—Salvador	1 460
Salvador—Belém	1 660

O avião permanece 45 minutos em terra em cada escala.

Preencha os quadros de horários, na figura 9.

E2 — Faça estimativas das seguintes velocidades:

- velocidade de uma formiga.
- velocidade de um homem andando.
- velocidade máxima de um homem correndo. O recorde mundial dos 100m rasos é 9,9s.
- velocidade média de um automóvel, nas ruas de uma cidade.
- velocidade média de um navio. Um navio moderno faz o trajeto de Lisboa até o Rio de Janeiro (8500km) em cerca de 10 dias.
- velocidade da Lua em sua órbita em torno da Terra, em km/h (a partir da figura 10). O período lunar é 27,3 dias, quase um mês. A

TEMPO (horas)	distâncias dos trens a São Paulo (km)	
	trem de passageiros	trem de carga
0	480	0
2		
4		
6		
8		
10		
12		

tabela 3

órbita do satélite é praticamente circular.

- g) velocidade da Terra em sua órbita em torno do Sol, em km/h (figura 11). O período terrestre é de 365 dias e sua órbita é quase circular.
- h) velocidade da luz. A luz do Sol demora 8 minutos e 17 segundos para chegar à Terra. A velocidade da luz é a máxima velocidade que se conhece. Segundo a Teoria da Relatividade de Einstein, é também a velocidade máxima que é possível atingir.

E3 — Um trem de passageiros saiu do Rio, rumo a São Paulo, no mesmo instante em que um trem de carga saiu de São Paulo, rumo ao Rio.

A velocidade do trem de passageiros é de 60km/h, enquanto que a do trem de carga é de 40km/h; a linha férrea é dupla.

O comprimento total da linha entre as estações é de 480km; as distâncias são medidas a partir de São Paulo.

- a) Preencha a tabela 3.
- b) Use o papel quadriculado da figura 12 para fazer o gráfico da distância medida a partir de São Paulo em função do tempo, para o trem de carga.
- c) No mesmo sistema de eixos, faça o gráfico da distância (de São Paulo) em função do tempo para o trem de passageiros. Note que, nesse caso, a distância correspondente ao instante inicial é de 480km.

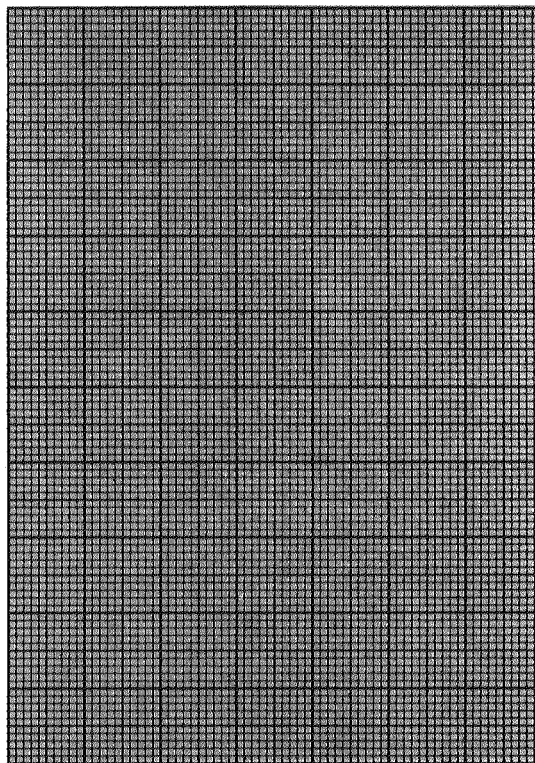


figura 12

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₁ -

- R₂** - a)
b)
c)
d)
e)
f)
g)
h)

n.º de ordem da corrida	tempo (mm de areia)
1	14,8
2	15,1
3	15,1
4	14,9
5	14,7
6	15,3
7	15,1
8	14,9
9	15,1
10	15,0
média	15,0

tabela 4

- d) O que representa o ponto de interseção dessas retas?
- e) Em que posição ocorre o cruzamento entre os dois trens?
- f) Qual é o instante em que os dois trens se cruzam?
- g) Quando o trem de passageiros chega a São Paulo, qual é a posição do trem de carga?
- h) Qual é a distância entre os dois trens 3h após as partidas?
- i) Quanto tempo após a partida o trem de carga se encontra a 60km de São Paulo?
- j) Quanto tempo depois o trem de passageiros passa pela mesma posição (60km)?

As informações a seguir devem ser utilizadas para responder aos exercícios de E4 a E7.

Usou-se um cronômetro para medir o tempo de corrida de uma bolinha no trecho horizontal AB de uma calha (figura 13). Efetuaram-se 10 medidas, cujos valores em mm de areia estão anotados na tabela 4.

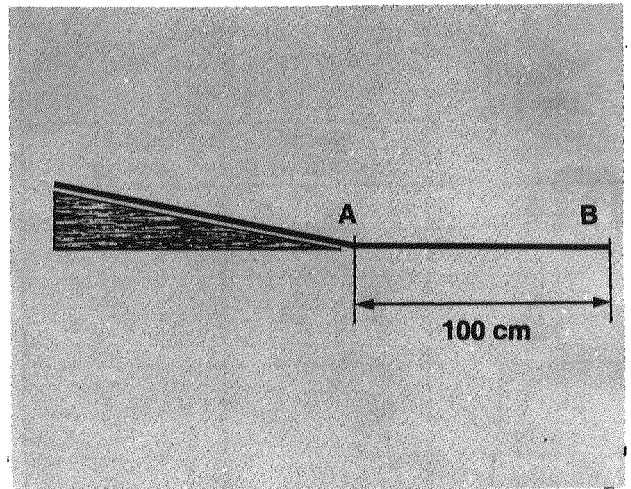


figura 13

A figura 14 representa uma parte da curva de calibração do cronômetro utilizado.

- E4 — O valor, em mm de areia, que melhor representa o tempo de corrida da bolinha é:
- a) 15,3mm de areia;
 - b) 15,1mm de areia;
 - c) 15,0mm de areia;
 - d) 14,9mm de areia;
 - e) Qualquer dos valores.
- E5 — No gráfico de calibração do cronômetro, a menor divisão da escala do eixo das abscissas vale, em segundos:
- a) 0,4s;
 - b) 0,3s;
 - c) 0,2s;
 - d) 0,1s;
 - e) 0,05s.
- E6 — A velocidade da bolinha na décima corrida, em centímetros por mm de areia, é, mais aproximadamente, igual a:
- a) 7,50cm/mm de areia;
 - b) 7,00cm/mm de areia;
 - c) 6,67cm/mm de areia;
 - d) 6,45cm/mm de areia;
 - e) 6,00cm/mm de areia.
- E7 — O tempo correspondente à primeira corrida da bolinha é, em segundos, mais aproximadamente igual a:
- a) 1,0s;
 - b) 1,2s;
 - c) 1,5s;
 - d) 2,0s;
 - e) 14,8s.

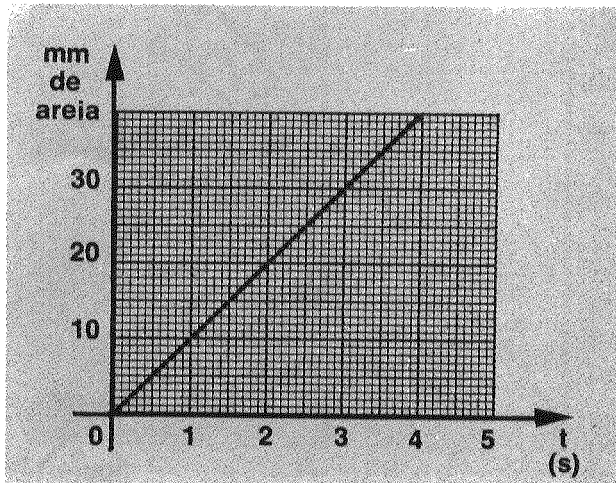


figura 14

O gráfico da figura 15 representa a distância percorrida por um móvel em função do tempo e deve ser utilizado para resolver os exercícios de E8 a E11.

E8 — Pelo gráfico pode-se concluir que a velocidade do móvel, em cm/s, é mais aproximadamente igual a:

- a) 70cm/s;
- b) 36cm/s;
- c) 22cm/s;
- d) 18cm/s;
- e) 14cm/s.

E9 — O gráfico permite concluir que para o móvel ir da posição 20cm para a de 50cm, gastou um intervalo de tempo de:

- a) 1,1s;
- b) 1,7s;
- c) 2,2s;
- d) 2,5s;
- e) 2,8s.

E10 — O gráfico permite concluir também que, entre os instantes 3 segundos e 5 segundos, a distância percorrida pelo móvel foi de:

- a) 25cm;
- b) 36cm;
- c) 54cm;
- d) 72cm;
- e) 90cm.

E11 — O gráfico permite dizer que a velocidade do móvel foi:

- a) menor nos dois primeiros segundos do que nos dois últimos.
- b) maior nos dois primeiros do que nos dois últimos.
- c) no primeiro segundo igual à de todos os outros intervalos.
- d) crescente de cada intervalo de 1 segundo para o próximo.
- e) decrescente de cada intervalo de 1 segundo para o próximo.

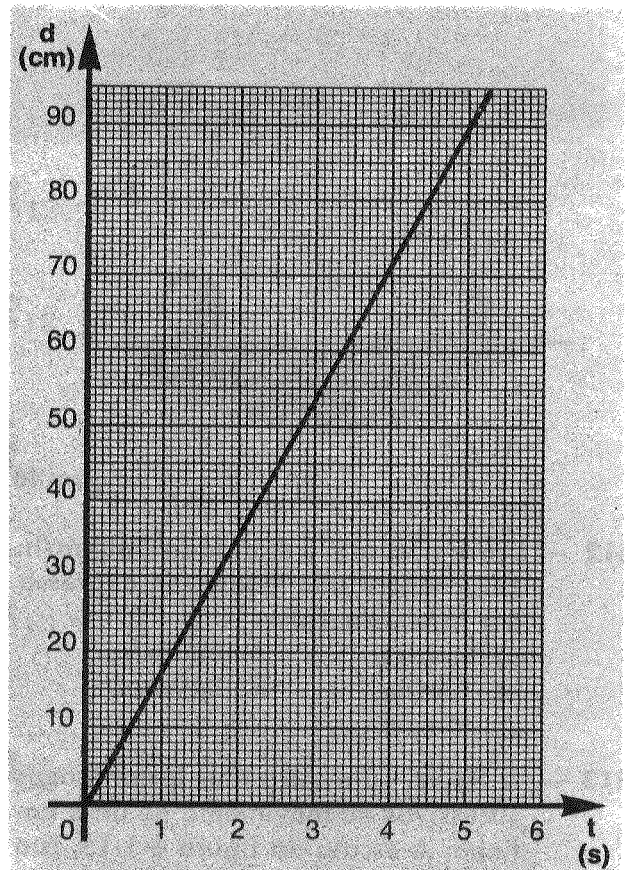


figura 15

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₃ - d)
e)
f)
g)
h)
i)
j)

R₄ -

R₅ -

R₆ -

R₇ -

R₈ -

R₉ -

R₁₀ -

R₁₁ -

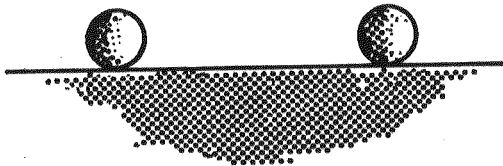


figura 16

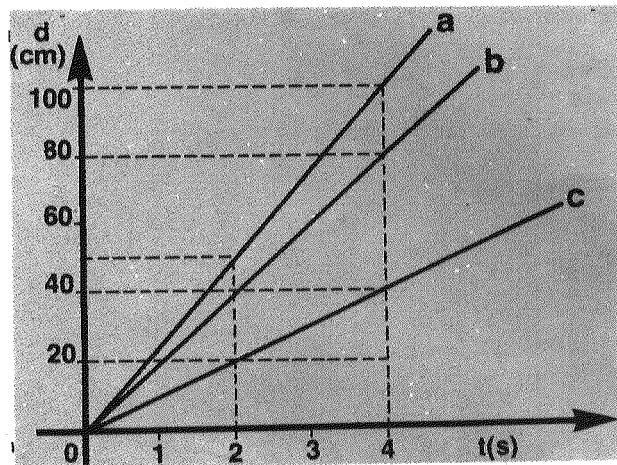


figura 17

E12 — Um avião tem velocidade 360km/h. Essa velocidade pode ser expressa em m/s pelo valor:

- a) 3,6m/s; d) 100m/s;
b) 10m/s; e) 360m/s.
c) 36m/s;

E13 — A figura 16 mostra dois instantâneos sucessivos do movimento de uma bolinha. A escala da figura é 1:15, isto é, cada centímetro da figura corresponde a 15,0cm do tamanho real. A distância (real) percorrida pela bolinha entre os dois instantâneos é mais aproximadamente igual a:

- a) 30,0cm; d) 53,0cm;
b) 42,5cm; e) 60,0cm.
c) 45,0cm;

E14 — O intervalo de tempo entre as dois instantâneos sucessivos da questão anterior vale 0,250s; portanto, a velocidade da bolinha foi, mais aproximadamente:

- a) 120cm/s; d) 210cm/s;
b) 170cm/s; e) 240cm/s.
c) 180cm/s;

E15 — Um casal de namorados passeia de braços dados. O rapaz dá passos de 50cm e a menina dá passos de 25cm. Neste caso, pode-se afirmar que:

- a) os namorados andam com a mesma velocidade.
b) a velocidade da menina é o dobro da velocidade do rapaz.

- c) a velocidade do rapaz é o dobro da velocidade da menina.
d) a velocidade do rapaz é 50cm/s.
e) a velocidade da menina é 25cm/s.

E16 — Se um trem mantiver uma velocidade constante de 80km/h, ao fim de 45 minutos terá percorrido:

- a) 36km; c) 106km; e) 3 600km.
b) 60km; d) 360km;

E17 — Um carro parte de A, dirigindo-se para B, mantendo velocidade constante de 80km/h. Meia hora mais tarde, um segundo carro parte de A. Se a distância entre A e B é de 240km, para que cheguem juntos em B o segundo carro deve desenvolver uma velocidade constante de:

- a) 80km/h; d) 160km/h;
b) 96km/h; e) 240km/h.
c) 120km/h;

A informação abaixo se refere aos exercícios 18 e 19.

O gráfico da figura 17 representa as distâncias percorridas pelos móveis a, b e c em função do tempo.

E18 — A distância percorrida pelo móvel a por unidade de tempo é igual:

- a) dobro da distância percorrida por c por unidade de tempo.
b) dobro da distância percorrida por b por unidade de tempo.
c) duas vezes e meia a distância percorrida por c por unidade de tempo.

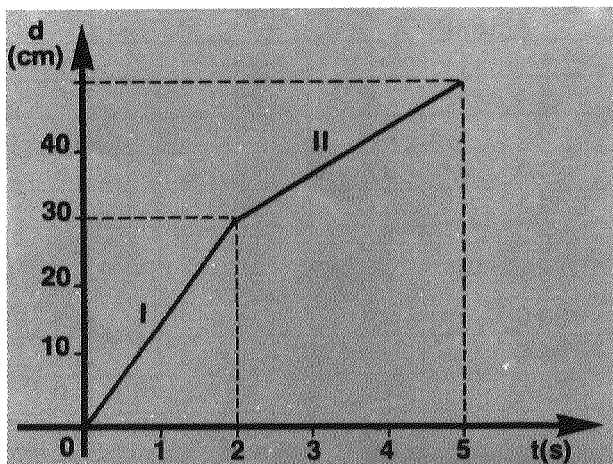


figura 18

- d) duas vezes e meia a distância percorrida por **b** por unidade de tempo.
- e) triplo da distância percorrida por **c** por unidade de tempo.

E19 — Ainda baseados no gráfico da figura 17, podemos afirmar que:

- a) o móvel **b** tem velocidade maior que o móvel **a**.
- b) o móvel **c** tem velocidade maior que o móvel **b**.
- c) o móvel **a** tem velocidade menor que o móvel **c**.
- d) a velocidade do móvel **a** é o dobro da velocidade de **b**.
- e) a velocidade do móvel **b** é o dobro da velocidade do móvel **c**.

E20 — O gráfico da figura 18 representa a distância, percorrida por um móvel, em função do tempo. Como você observa, o gráfico consta de dois trechos retilíneos distintos, I e II. Da simples observação do gráfico, pode-se afirmar que:

- a) o móvel manteve velocidade constante durante todo o intervalo de 0 a 5 segundos.
- b) a velocidade do móvel não foi constante nem em I nem em II.
- c) a velocidade do móvel foi constante somente no trecho I.
- d) a velocidade foi constante somente em II.
- e) a velocidade foi constante tanto em I quanto em II, mas com valores diferentes.

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R₁₂ -

R₁₃

R₁₄

R₁₅ -

R₁₆ -

R₁₇ -

R₁₈ -

R₁₉ -

R₂₀ -

- R1 — Belém 1- 11h e 55min
 Salvador 1- 9h e 19min
 2- 10h e 04min
 São Paulo 1- 6h e 57min
 2- 7h e 42min
 Porto Alegre 1- 6h

- R2 — a) Da ordem de alguns centímetros por segundo.
 b) Da ordem de 1,5m/s.
 c) 10,1m/s.
 d) Entre 10km/h e 60 km/h ou 6,8m/s e 16,6m/s.
 e) Cerca de 36km/h.
 f) 3 600km/h.
 g) $1,08 \times 10^3$ km/h.
 h) O resultado arredondado é $3,00 \times 10^3$ m/s.

- R3 — d) Representa a posição e o instante de cruzamento entre os dois trens.
 e) Ocorre a 192km de São Paulo (é aceitável uma diferença de até 5km para mais ou para menos).
 f) Ocorre 4,8 horas depois da partida dos trens (é aceitável uma diferença de até 0,2 hora para mais ou para menos).
 g) Está a 320km de São Paulo (é aceitável uma diferença de até 5km para mais ou para menos).
 h) 180km (é aceitável uma diferença de até 5km para mais ou para menos).
 i) 1,5h após a partida (é aceitável uma diferença de até 0,2 hora para mais ou para menos).
 j) 5,5 horas após o trem de carga passar pelo km 60, o trem de passageiros passa por essa posição (é aceitável uma diferença de até 0,2 hora para mais ou para menos).

- R4 — c) 15,0mm de areia, que é a média.

- R5 — d) 0,1s.

- R6 — c) $\frac{100\text{cm}}{15,0\text{mm de areia}} = 6,67\text{cm/mm de areia}$.

- R7 — c) 1,5s.

- R8 — d) 18cm/s.

- R9 — b) 1,7s.

- R10 — b) 36cm.

- R11 — c) No primeiro segundo igual à de todos os outros intervalos.

- R12 — d) 100m/s.

- R13 — d) 53,0cm.

- R14 — d) 210cm/s.

- R15 — a) Os namorados andam com a mesma velocidade.

- R16 — b) 60km.

- R17 — b) Tempo necessário para o primeiro carro percorrer os 240km:

$$t_1 = \frac{240\text{km}}{80\text{km/h}} = 3\text{h.}$$

Como o segundo carro sai 0,5h mais tarde, deve percorrer o trecho em 2,5h para chegar junto com o primeiro. A velocidade com a qual ele deve percorrer esse trecho é:

$$v_2 = \frac{240\text{km}}{2,5\text{h}} = 96\text{km/h.}$$

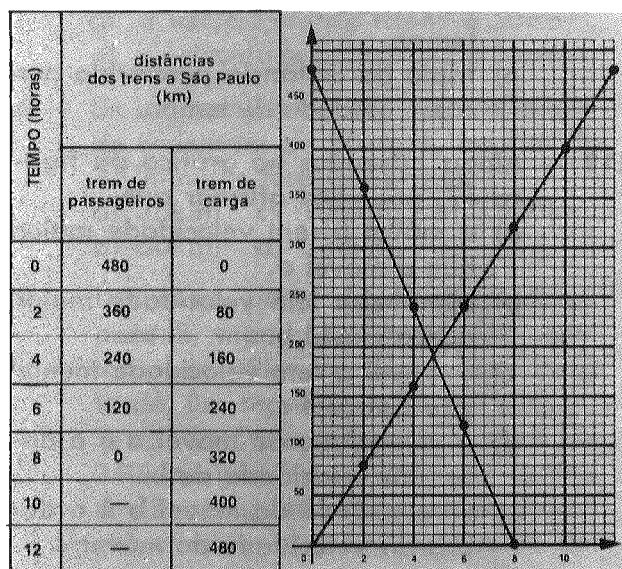
- R18 — c) Duas vezes e meia a distância percorrida por c por unidade de tempo.

- R19 — e) A velocidade do móvel b é o dobro da velocidade do móvel c.

- R20 — e) A velocidade foi constante tanto em I quanto em II, mas com valores diferentes.

ALUMÍNIO		FERRO	
massa (g)	volume (cm ³)	massa (g)	volume (cm ³)
3,1	1,2	3,9	0,5
6,1	2,3	7,1	0,9
10,0	3,8	14,4	1,8
13,4	4,6	20,6	2,6
16,4	5,9	26,9	3,4
19,7	7,3	34,0	4,4
23,6	9,1	41,9	5,3
25,6	9,9	43,1	5,5
28,4	11,0	53,1	6,8
31,2	11,7	64,2	8,2
33,4	12,5	79,4	9,7
36,8	13,7	87,3	10,7

tabela 5



- R29 — 2,5cm³; 6,2cm³; 11,2cm³.

- R30 — Sim (8,0g/cm³).

- R31 — 5,6cm³; 11,3cm³; 15,0cm³.

- R32 — Sim (2,7g/cm³).

- R33 — Não.

- R34 — Sim, porque esses gráficos são retas que passam pela origem.

- R35 — 70; 42; 20.

- R36 — cm/s.

- R37 — São as velocidades respectivas dos 3 corpos.

- R38 — O corpo 1 possui maior velocidade porque em cada instante já percorreu distância maior.

- R39 — Igual.

- R40 — c) **N** não é diretamente proporcional a t, porque o gráfico não é uma reta.

- R41 — Sim.

- R42 — É.

- R43 — Não.

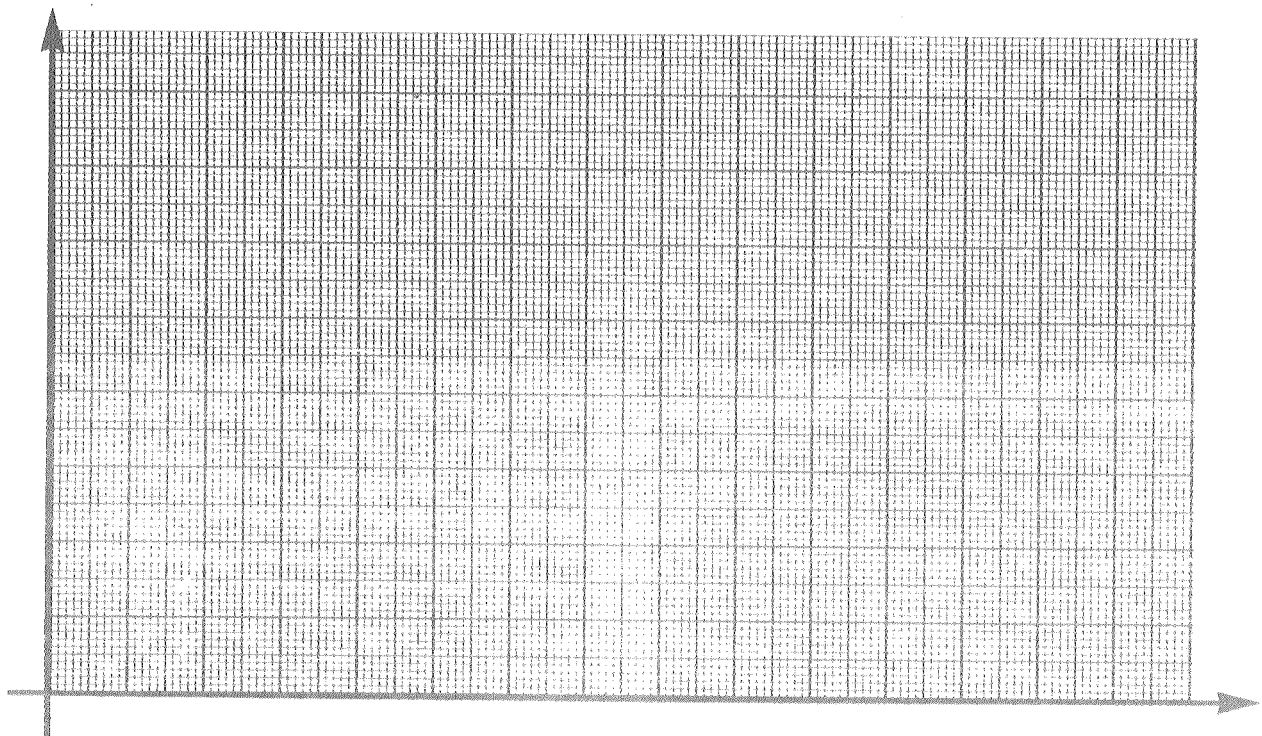


figura 19

6. Grandezas diretamente proporcionais

Quando estudamos um fenômeno físico procuramos encontrar relações entre as grandezas que intervêm no fenômeno. Por exemplo, quando você estudou o movimento da bolinha que rola pela calha, procurou estabelecer uma relação entre o espaço percorrido pela bola e o tempo.

Duas grandezas podem estar relacionadas entre si de várias maneiras diferentes (ou mesmo não estar relacionadas). Uma das relações mais simples entre grandezas é a proporcionalidade. Por exemplo, na calha horizontal a velocidade é constante e o espaço percorrido é **proporcional** ao tempo gasto em percorrê-lo (diz-se também "diretamente proporcional").

Nesta seção vamos estudar a relação de proporcionalidade. Iniciaremos pela análise de uma experiência feita com várias peças de ferro e de alumínio, em que se mediram suas massas e volumes. A tabela 5 dá os resultados das medidas dessas grandezas.

Use o papel milimetrado da figura 19 para construir os gráficos $M \times V$ (massa em função do volume) para cada um dos metais. Escolha uma escala tal que permita aos gráficos ocuparem a maior extensão possível do papel milimetrado. Para evitar confusões, trace em primeiro lugar o gráfico correspondente ao ferro e depois o correspondente ao alumínio.

Você deve ter verificado que, em cada caso, os pontos não estão perfeitamente alinhados, mas sim aproximadamente alinhados, podendo se traçar uma reta que contém o maior número possível de pontos e passa perto de quase todos, deixando aproximadamente o mesmo número deles de cada lado.

Q29 — Utilize o gráfico para determinar os volumes correspondentes a massas de 20g, 50g e 90g de ferro.

Divida as massas citadas na questão anterior pelos correspondentes volumes que você determinou.

Q30 — O quociente das massas de ferro pelos respectivos volumes é o mesmo nos três casos?

Q31 — Determine, pelo gráfico, os volumes correspondentes às massas de 15g, 30g e 40g de alumínio. Calcule os quocientes dessas massas pelos volumes correspondentes.

Q32 — Esses quocientes são todos iguais?

Q33 — Os valores encontrados em Q30 e Q32 são iguais entre si?

Você deve ter notado que o quociente da massa pelo volume é uma constante tanto para o ferro quanto para o alumínio, mas também que esse quociente não é o mesmo para os dois metais. Em outras palavras, o quociente da massa pelo volume é uma constante, característica do metal considerado e pode ser escrito como

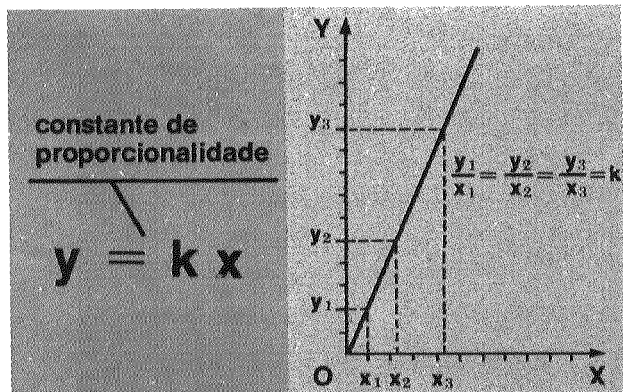


figura 20

$M/V = D$, onde M representa a massa, V o volume e D a constante, chamada **constante de proporcionalidade**. No caso em questão, a constante D tem o nome de **densidade**, ou **massa específica** do metal; ela é expressa em g/cm^3 , pois a massa foi medida em gramas e o volume em centímetros cúbicos. É claro que a densidade também poderia ser medida em kg/m^3 , toneladas/litro, ou outra unidade semelhante.

Verificamos então que dois pedaços de ferro podem ter massas e volumes diferentes, mas o quociente entre essas grandezas — isto é, a densidade — é o mesmo para ambos.

Sempre que o gráfico de uma grandeza y em função de outra grandeza x , em um sistema de eixos ortogonais, for uma **reta que passa pela origem, y será diretamente proporcional a x**. Isso significa que, tomando qualquer par de valores (x, y) que corresponda a um ponto da reta, a razão y/x tem sempre o mesmo valor; isso pode ser representado por $y/x = k$, ou $y = kx$, onde k é a constante de proporcionalidade (figura 20).

Vejamos agora como isso se traduz no caso da bolinha que percorre o trecho horizontal da calha: o espaço percorrido (e) é diretamente proporcional ao tempo (t): isso se escreve $e = vt$; v é a constante de proporcionalidade, que, no caso, é a velocidade da bolinha (figura 21). A equação $e = vt$ vale para todos os movimentos que tenham velocidade constante, pois o que ela exprime é exatamente o fato que o quociente entre qualquer espaço percorrido desde o instante $t = 0$ e o tempo gasto em percorrê-lo é constante, ou seja, que a velocidade é constante.

Consideremos agora outro exemplo: do estudo do movimento de três corpos, 1, 2 e 3, obtiveram-se os gráficos da figura 22. Cada gráfico representa as distâncias percorridas em função do tempo.

Q34 — Em cada gráfico, as grandezas e e t são diretamente proporcionais? Justifique sua resposta.

Calcule os valores das constantes de proporcionalidade relativas a cada caso, dividindo as distâncias percorridas pelos corpos 1, 2 e 3 em um mesmo intervalo de tempo.

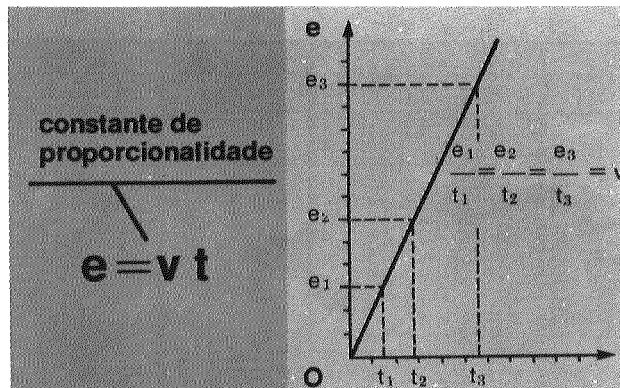


figura 21

Q35 — Quais os valores das três constantes de proporcionalidade?

Q36 — Qual é a unidade em que essas constantes estão expressas?

Q37 — O que são essas constantes?

Q38 — Apenas observando a figura 22, e sem efetuar nenhum tipo de cálculo, como você poderia dizer qual dos corpos 1, 2 ou 3 possui a maior velocidade?

Você deve ter notado que, dos três movimentos cujos gráficos estão representados na figura 22, o de maior velocidade é aquele que corresponde à reta que forma o maior ângulo com o eixo das abscissas. Por outro lado, a menor velocidade corresponde à reta que forma com esse eixo o menor ângulo.

Dessa maneira, o **ângulo** que a reta forma com o eixo das abscissas está, de alguma forma, relacionado com a constante de proporcionalidade. No entanto, esse ângulo não dá imediatamente o valor da constante, pois ele depende das escalas utilizadas nos eixos, ao passo que a constante não depende delas. Assim, é preciso tomar um certo cuidado ao relacionar esse ângulo com a constante de proporcionalidade.

A figura 23 mostra dois gráficos, A e B, correspondentes aos movimentos de dois corpos que se movem com velocidade constante.

Q39 — A velocidade do corpo A é maior, igual ou menor que a velocidade do corpo B?

Você pode notar que, apesar de serem diferentes os ângulos que as retas formam com os respectivos eixos das abscissas, as velocidades dos dois corpos são iguais; a diferença entre os ângulos se deve ao fato de não se ter utilizado a mesma escala na construção dos dois gráficos.

Resumindo o que vimos até agora, verificamos que duas grandezas x e y , que são diretamente proporcionais entre si, estão sempre relacionadas pela equação $y = kx$, onde k é uma constante; o gráfico de y em função de x é sempre uma reta que passa pela origem do sistema de coordenadas; dados dois gráficos (retas) **construídos com a mesma escala**, a maior cons-

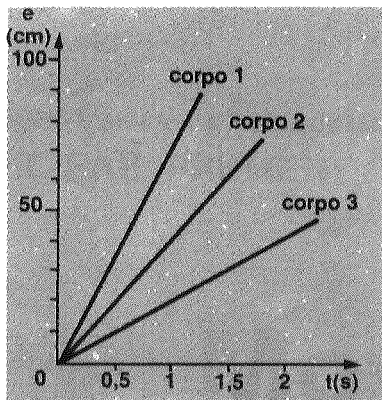


figura 22

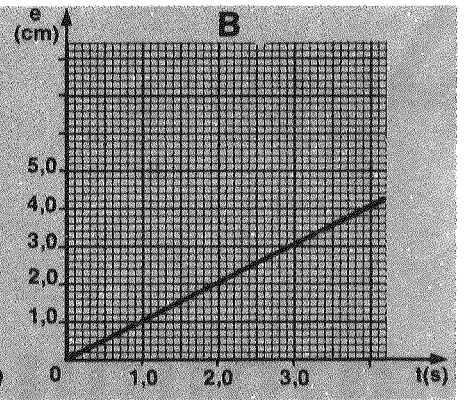
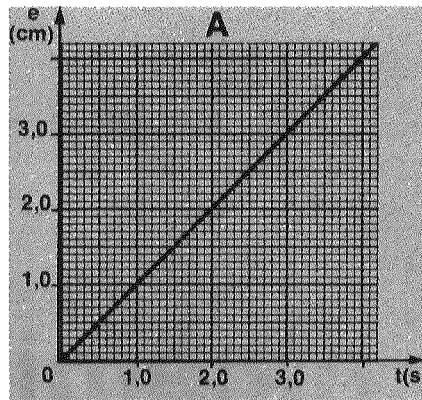


figura 23

tante de proporcionalidade corresponde à reta que forma o maior ângulo com o eixo das abscissas.

Nos dois casos que estudamos, estabelecemos relações entre massa e volume e entre espaço e tempo, relações estas que se revelaram ser de proporcionalidade direta; os gráficos obtidos foram, em ambos os casos, retas. Nem sempre, porém, duas grandezas relacionadas entre si são diretamente proporcionais; os gráficos correspondentes **não serão** retas que passam pela origem do sistema de coordenadas. Nos capítulos seguintes, você estudará movimentos para os quais a velocidade não é constante e, portanto, em que a distância e o tempo não são diretamente proporcionais; para esses movimentos, o gráfico $e \times t$ não será uma reta.

Q40 — O gráfico da figura 24 é a curva de crescimento da população de um protozoário (Paramecio) em um meio de cultura em função do tempo. Assinale, entre as afirmações seguintes, qual é a alternativa correta:

- o número de indivíduos (N) é diretamente proporcional ao tempo t , pois o gráfico passa pela origem.
- N não é diretamente proporcional a t , pois o gráfico passa pela origem.
- N não é diretamente proporcional a t , porque o gráfico não é uma reta.
- o gráfico não permite concluir se N e t são diretamente proporcionais.

Q41 — Sempre que uma grandeza p é diretamente proporcional a uma grandeza q , o gráfico de p em função de q é uma reta que passa pela origem?

Q42 — Se p é diretamente proporcional a q , então o quociente p/q é constante?

Q43 — Se sabemos que p é diretamente proporcional a q , e escrevemos $p = kq$, podemos dizer que a grandeza k varia quando q varia?

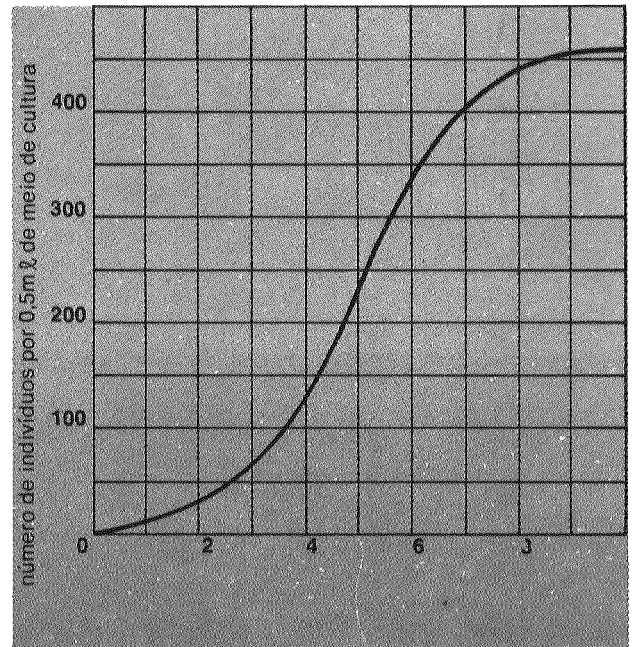


figura 24

RESPOSTAS

R₂₉ -
R₃₀ -
R₃₁ -
R₃₂ -
R₃₃ -
R₃₄ -
R₃₅ -
R₃₆ -
R₃₇ -

R₃₈ -
R₃₉ -
R₄₀ -
R₄₁ -
R₄₂ -
R₄₃ -

ISBN 85-222-0160-9

Esta obra foi impressa pela
EDITORA DO BRASIL S/A.
Av. Mal. Humberto de Alencar Castelo Branco, 368
Fone: 913-4141 — Guarulhos — SP
para a
FAE — Fundação de Assistência ao Estudante
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça
Rio de Janeiro — RJ — República Federativa do Brasil
em 1984.