

Compreensão de Gráficos de Cinemática em Física Introdutória

(Understanding of kinematics graphs in introductory physics)

D.A. Agrello e Reva Garg
*Instituto de Física, Universidade de Brasília,
70910-900 Brasília-DF, Brasil
P.O. Box 04455*

Recebido em 30 de Julho, 1998

Fazemos aqui um estudo sobre as dificuldades que os estudantes tem ao interpretar gráficos de cinemática. Através de um teste de múltipla escolha, coletamos dados de 228 estudantes que completaram o segundo grau e ingressaram em diferentes áreas na Universidade de Brasília. Várias análises são feitas a partir dos resultados deste teste. Este estudo pode de alguma maneira ajudar os professores a modificar seus métodos de ensino visando diminuir as dificuldades dos alunos com gráficos de cinemática.

The present survey is on student's difficulties in interpreting kinematics graphs. A test model has been used to collect data from 228 students who completed high school and entered in different areas in the University of Brasilia. A comparative analysis of the data is done in various cases. The finding of this study will help teachers modify their instructions to better address student's difficulties with kinematics graphs.

I Introdução

Um gráfico descrevendo um evento físico permite-nos reconhecer facilmente dados, que em uma tabela são mais difíceis de visualizar. Os gráficos resumem uma grande quantidade de informações que podem ser facilmente percebidas. A habilidade de trabalhar confortavelmente com gráficos é uma ferramenta básica dos cientistas.

Tem-se dado muita atenção ao tópico “cinemática - o movimento dos objetos” em aulas de física introdutória. Talvez a mais importante razão para analisar a habilidade dos estudantes em interpretar gráficos de cinemática seja o seu vasto uso como ferramenta de ensino. Uma vez que os gráficos são um eficiente pacote de dados, eles são usados quase como uma segunda linguagem.

Os professores de física freqüentemente constataam que seus estudantes não conseguem usar gráficos para representar uma realidade física. Vários estudos tem mostrado que os estudantes que estão começando Física

Introdutória entendem os conceitos básicos da construção de gráficos, mas tem dificuldades em analisar estes gráficos no laboratório. Beichner [1] propôs um modelo para criar testes tipo múltipla escolha que podem ser usados tanto como diagnóstico quanto como auxiliar na instrução. Depois de pesquisa detalhada, ele elaborou um teste contendo 21 questões tipo múltipla escolha (TUGK - Test of Understanding Graphs in Kinematics) [1,2]. Este teste foi aplicado a alunos na Universidade do Estado da Carolina do Norte-USA e também a alunos terminando o “high school”. A tabela 1 mostra os objetivos de cada tipo de gráfico no TUGK.

Traduzimos este teste [2] e o utilizamos na análise de várias turmas de primeiro semestre de 1998 na Universidade de Brasília. Testamos nossos estudantes com a intenção de ajudá-los em seu desempenho no decorrer do curso de Física I. Neste curso temos condições de medir posição, velocidade, aceleração e tempo, obtendo dados que podem ser analisados através de vários gráficos tipo posição (x) versus tempo (t), velocidade (v) versus tempo (t) e também $\log x$ versus $\log t$.

Tabela 1 - Objetivos do teste TUGK de compreensão de gráficos de cinemática.

Dado	O estudante terá que
gráfico posição - tempo	determinar a velocidade
gráfico velocidade - tempo	determinar a aceleração
gráfico velocidade - tempo	determinar o deslocamento
gráfico aceleração - tempo	determinar a variação na velocidade
um gráfico de cinemática	selecionar outro gráfico correspondente
um gráfico de cinemática	selecionar descrição textual
descrição textual de movimento	selecionar gráfico correspondente

Todos os estudantes testados já tinham tido contato com cinemática no curso de segundo grau. Os professores que aplicaram os testes foram voluntários. Os testes foram aplicados a 228 estudantes recém-chegados a Universidade, a maioria deles sem nenhum conhecimento de Cálculo. Os testes foram feitos nas primeiras semanas do semestre, com a intenção de testar as dificuldades dos alunos e analisá-las (o teste se encontra no final deste artigo). A tabela 2 mostra a quantidade de alunos por curso que foram testados, assim como o número de alunos por vagas dos candidatos ao Vestibular do primeiro semestre de 1998 na Universidade de Brasília. Só foram testados alunos dos cursos de Ciências Exatas.

Fizemos uma comparação entre os alunos dos diversos cursos na UnB e também entre os nossos estudantes e aqueles testados por Beichner [1].

II Discussão

Inicialmente comparamos os nossos resultados com os resultados obtidos por Beichner na referência [1]. A comparação pode ser vista através das figuras 1 e 2. O gráfico de barras da figura 1 mostra o número de estudantes que responderam corretamente cada uma das 21 questões do teste. Podemos ver deste gráfico que os estudantes brasileiros da UnB parecem ser melhor preparados que os americanos para lidar com gráficos de cinemática. Verificamos também, através da figura 2, que os nossos alunos tem basicamente os mesmos tipos de dificuldades que os alunos americanos. Podemos ver que as duas curvas da figura são praticamente paralelas, embora as dificuldades dos alunos americanos seja maior que a dos brasileiros testados.

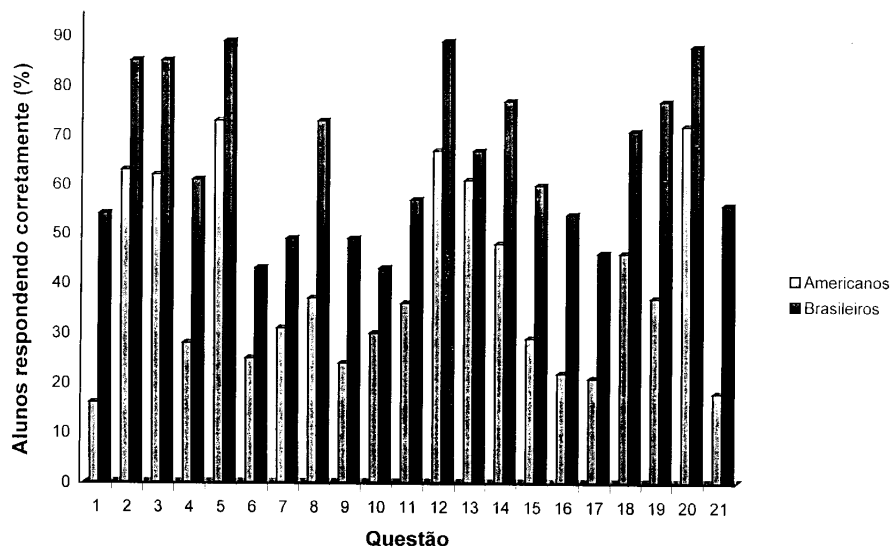


Figura 1. Porcentagem de estudantes que responderam cada questão corretamente. Comparação entre os estudantes da UnB e os resultados obtidos na Ref. [1].

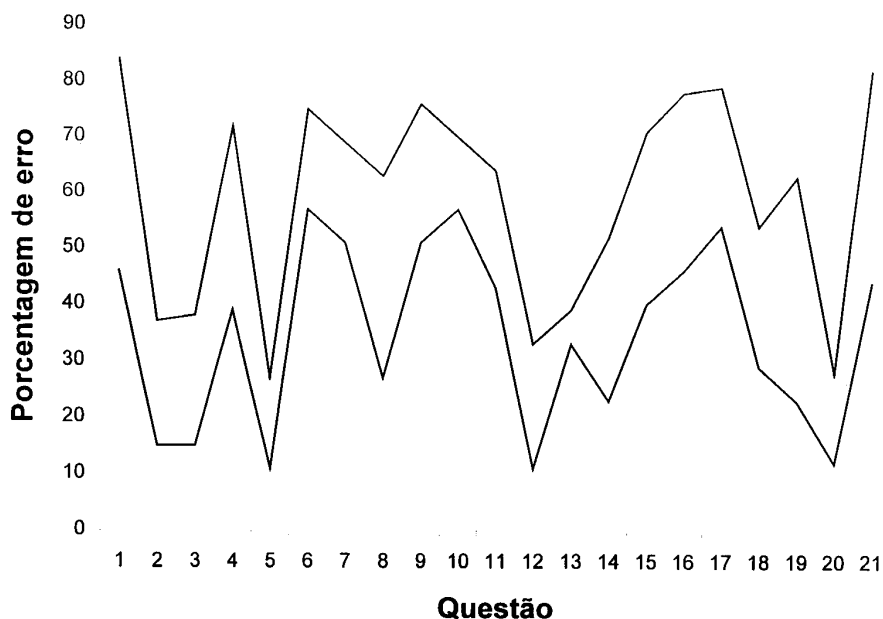


Figura 2. Porcentagem de erro em cada questão. Comparação entre os estudantes da UnB (curva inferior) e os resultados da Ref. (1) (curva superior).

As discussões a seguir são referentes aos resultados obtidos com a aplicação do teste na UnB, comparando somente os estudantes brasileiros. Perguntamos aos alunos que fizeram o teste se eles tinham cursado o segundo grau em escolas públicas ou em escolas privadas. Os resultados podem ser vistos na figura 3, que mostra o índice de acerto de cada uma das questões para alunos que são oriundos de cada tipo de escola. Podemos observar que, embora o índice de acerto dos alunos das escolas públicas seja menor que o das escolas privadas, os resultados não são muito diferentes. Embora isto nos tenha causado alguma surpresa, devemos levar em conta que a UnB é uma das melhores Universidades do país (vide relatório da CAPES 98), sendo que em Brasília o ensino público é um dos melhores do Brasil. Também devemos considerar o fato que os alunos que ingressam na UnB são provavelmente os melhores em suas respectivas áreas em Brasília. Os resultados poderiam ser diferentes considerando outras regiões do país.

Evidentemente, o nível de acertos das respostas também depende do curso escolhido. A figura 4 mostra uma comparação entre os alunos dos cursos de Física, Química e Ciência de Computação. Comparando este gráfico com a tabela 2, vemos que os alunos do curso de Ciência de Computação são melhor preparados e sofrem uma maior concorrência no Vestibular. Beichner [1] não considera a diferença entre capacidade e conhecimento dos estudantes de diferentes áreas. Gostaríamos de enfatizar que os métodos de ensino necessitam de modificações de acordo com a habilidade dos estudantes em uma sala de aula. Por exemplo, um estudante de Química necessita mais orientação que um estudante de Ciência de Computação para entender gráficos de cinemática. Este tipo de análise nos leva a pensar em como melhorar o ensino para os alunos mais deficientes, e que o ensino nos cursos tidos como básicos não deve ser ministrado igualmente para todas as áreas de conhecimento, porque os alunos iniciantes não tem o mesmo nível de formação.

Tabela 2 - Cursos e número de estudantes que participaram do TUGK.

Curso	candidatos/vaga	No.de estudantes que fizeram o teste
Ciências da Computação	25.80	11
Engenharia Civil	11.23	6
Engenharia Elétrica	8.68	18
Engenharia Mecânica	7.38	39
Física	6.16	25
Química	5.91	47
Matemática	8.80	21
Geologia	6.88	22
Engenharia Mecatronica	8.23	27
Engenharia de Redes de Comunicação	10.70	12

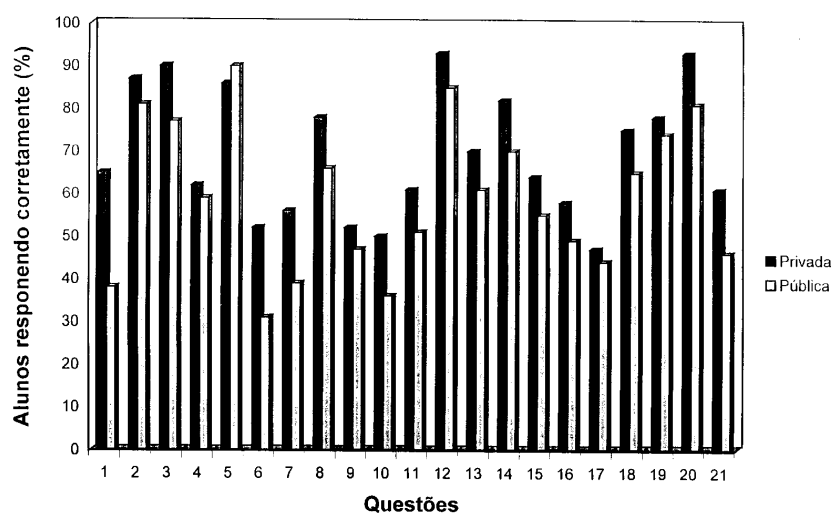


Figura 3. Comparação dos resultados obtidos entre estudantes vindos de escolas públicas e escolas privadas.

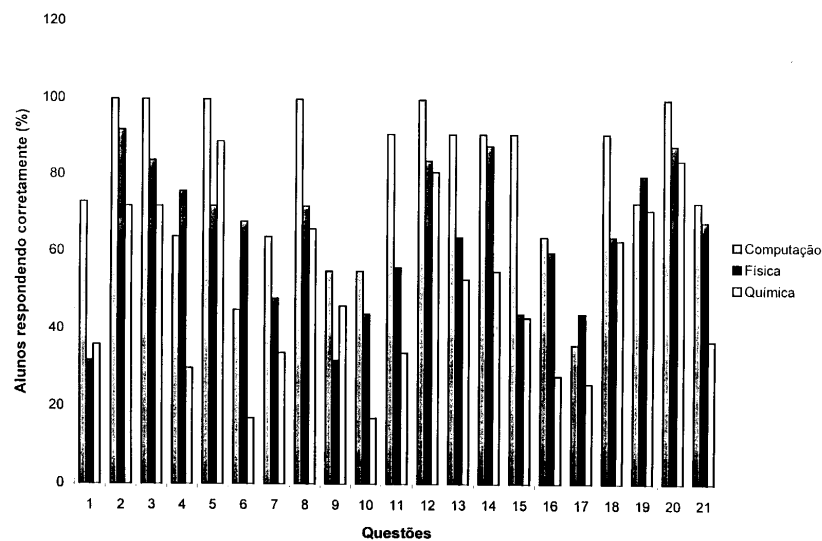


Figura 4. Comparação entre os resultados obtidos para os alunos dos cursos de Física, Química e Computação. Porcentagem de alunos que responderam corretamente cada questão.

estudantes já não está nos cursos de Física (tabela 2). Antigamente somente os melhores alunos faziam os cursos de Ciências. Hoje isso não é mais uma realidade. Muitas mudanças nos currículos tem sido sugeridas, não só aqui, mas em outros países também [3]. Com as mudanças no mundo ocorrendo cada vez mais rapidamente, é essencial uma maior flexibilização e adaptação as condições atuais. Alguns observadores atribuem o baixo número de estudantes que se formam em ciências físicas a preparação deficiente ou excessiva consciência de carreira dos estudantes hoje em dia. O futuro da educação, pesquisa e emprego na área de Física tem sido muito discutido. Os físicos atualmente se deparam com poucas opções no mercado de trabalho, sendo isto observado também em outros países. Por causa desta restrição de mercado de trabalho, o número de graduados em Física vem diminuindo a cada ano. R. Ehrlich [4] mostra num trabalho recente que nos EUA a porcentagem de bacharéis em Física de 1950 a 1996 caiu drasticamente. Lá, em 1993, o número de bacharéis em ciências humanas (incluindo psicologia) produziu 14 vezes mais bacharéis que em ciências físicas.

III Análise por itens individuais

No final deste artigo encontra-se o teste a que foram expostos nossos alunos da UnB. A tabela 3 mostra a porcentagem de alunos que responderam cada alternativa em cada questão. Na última coluna vemos a porcentagem de alunos que deixaram as questões em branco. Estes resultados foram obtidos da computação geral dos 228 alunos testados.

Comparando nossos resultados com os dos americanos, vemos que lá, cerca de 25% dos alunos acreditam que os gráficos das variáveis distância, velocidade e aceleração deveriam ser idênticos, como nas questões 11 e 15. Isto não é o que acontece com nossos alunos. Para nós esse índice cai para 8% (alunos que responderam a alternativa A na questão 11) e 9% (alternativa B na questão 15). Se os estudantes vêem os gráficos como fotografias da situação, eles não veriam razão para mudar a aparência dos gráficos, mesmo mudando a variável na ordenada. Na questão 14, somente 7% responderam a letra A, mostrando que no cômputo geral, isso não acontece.

Tabela 3 - Porcentagem de Estudantes que escolheram cada Item em cada Questão. A resposta correta está em negrito.

Questão	A	B	C	D	E	branco
1	19	54	1	17	7	2
2	1	6	8	0	85	0
3	7	0	6	85	2	0
4	0	6	3	61	26	4
5	0	0	89	8	2	1
6	41	43	3	4	3	6
7	49	20	4	9	2	16
8	2	11	12	73	2	0
9	6	17	22	4	49	2
10	43	4	38	10	3	2
11	8	22	7	57	5	1
12	3	89	2	0	6	0
13	13	5	11	67	1	3
14	7	77	9	3	1	3
15	60	9	4	4	22	1
16	1	15	13	54	10	7
17	46	24	1	3	5	11
18	2	71	15	0	7	5
19	5	3	77	2	11	2
20	4	1	2	2	88	3
21	56	40	1	2	0	1

Nota-se que os estudantes têm dificuldades em determinar inclinações. Contudo, isto nem sempre é verdade. Se a linha passa pela origem, 89% foram capazes de determinar a inclinação corretamente, como pode ser visto na questão 5, uma das mais fáceis do teste. Mas, se a tangente não passa pela origem como nas questões 6 e 17, a porcentagem de acerto cai para aproximadamente 43% e 46%, respectivamente. Os estudantes freqüentemente calculam a inclinação em um ponto, dividindo simplesmente o valor de uma ordenada pelo valor de uma abscissa, essencialmente forçando a linha a passar pela origem. Muitas vezes os estudantes consideram as condições iniciais incorretamente. Os itens 7 e 17 mostram que grande parte dos alunos fez este tipo de consideração, isto é, misturou inclinação com altura.

Na questão 17 (uma das questões com maior porcentagem de erro no teste), os alunos do curso de Ciência de Computação tiveram 64% de erro enquanto que os do curso de Física tiveram 56% (fig. 4). Comparativamente, na questão 6, a turma da Ciência de Computação teve 55% de erro, enquanto que a turma de Física teve 32%, sendo esta também uma das questões

consideradas mais difíceis do teste. É interessante notar que apesar de os alunos da Física terem um desempenho abaixo dos alunos da Ciência de Computação, nas questões tidas como mais difíceis eles se saíram melhor. Por outro lado, enquanto a turma de Ciência de Computação não deixou respostas em branco, a turma de Física deixou em branco 32% e 24% nas questões 7 e 17, respectivamente. Note também que as questões 7 e 17 foram as questões com maior porcentagem de respostas em branco do teste em geral.

Nas questões 9 e 21 os alunos mostraram uma confusão entre as variáveis cinemáticas. Uma simples mudança na variável do eixo vertical de uma das variáveis cinemática para outra, implicou em muitas respostas incorretas. Aparentemente os estudantes também confundem áreas sob curvas e inclinações. A questão 1 (talvez a mais difícil do teste) e a questão 10 mostram que os estudantes selecionam respostas que se referem a inclinação em vez de área. Verifica-se que o cálculo de áreas para determinar variações na velocidade a partir de gráficos de aceleração foi o objetivo mais difícil (veja tabela 3). Note o uso da palavra variação nas questões. A questão 18 indica que os estudantes respondem mais corretamente quando a solução é encontrar uma área, usando palavras para descrever a ação que quando devem fazer os cálculos. A tendência é calcular a inclinação em vez da área ou ler o valor do eixo vertical. Ambos estes erros podem ser vistos na questão 16.

O item 20 foi uma das questões com maior índice de acerto do teste. Pode-se assumir deste item que os estudantes podem determinar áreas sob curvas. Contudo, parece que eles notam que a velocidade é constante em 3 m/s e simplesmente multiplicam aquele valor pelo intervalo de tempo, talvez sem perceber que estão calculando uma área. Em outras palavras, os estudantes usam a fórmula $d = vt$ para encontrar a distância. Isto se torna mais aparente no item 4.

IV Conclusão

Através de um simples teste de cinemática fizemos uma análise do desempenho de 228 alunos de ciências exatas recém-chegados a UnB. Foram feitas comparações entre os diversos cursos, assim como uma relação entre o desempenho dos alunos no teste com as escolas de onde eles eram oriundos e a quantidade de vagas por curso no Vestibular de 1998.

Em relação aos estudantes de Física, verificamos que educar físicos para o futuro requererá mudanças em todos os níveis. Os professores terão que aprender a lidar com certos tipos de problemas, com as complexidades, onde quer que surjam, assim como a ser mais flexíveis (apresentaremos um artigo sobre este assunto em breve).

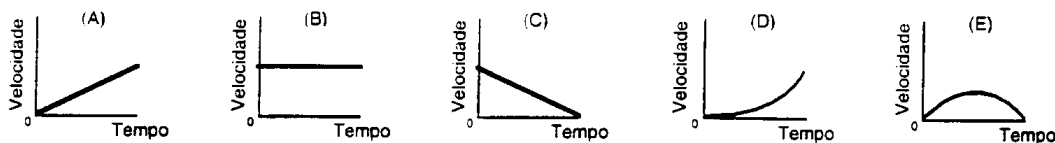
Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a colaboração dos professores do curso de Física I Experimental da UnB que aplicaram o teste em suas turmas e também a George C. B. Braga, estudante de pós-graduação da UnB, pelas discussões e programação no “Microsoft Access”.

Referências

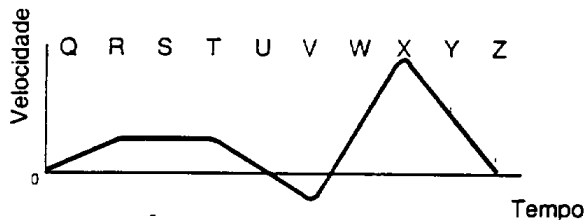
1. Robert J. Beichner, “Testing student interpretation of kinematics graphs”, *Am. J. Phys.* **62**(8), 750 (1994).
2. Robert J. Beichner, *Test of Understanding Graph Kinematics*, version 2.6; sua tradução para o português por R. Garg e D. A. Agrello, www.ncs.edu/per/TestAccess.html.
3. W. P. Wolf, “Is Physics education adapting to a changing world?”, *Phys. Today* **47**(10), 48, October (1994).
4. R. Ehrlich, “Historical trends in Physics bachelor degree output”, *The Phys. Teacher* **63**, 328 (1998).

1 Gráficos de velocidade versus tempo para cinco objetos são mostrados abaixo. Todos os eixos tem a mesma escala. Qual objeto tem a maior variação na posição durante o intervalo?



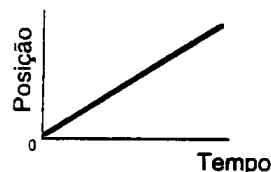
2 Quando a aceleração é mais negativa ?

- (A) entre R e T
- (B) entre T e V
- (C) em V
- (D) em X
- (E) entre X e Z



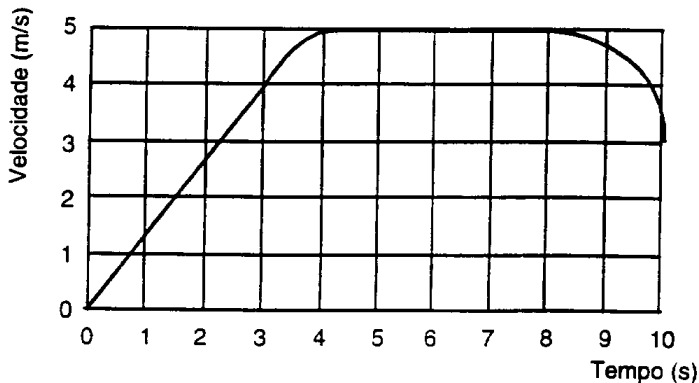
3 À direita está o gráfico do movimento de um objeto. Qual das sentenças abaixo melhor interpreta este gráfico ?

- (A) O objeto está se movendo com aceleração constante, diferente de zero.
- (B) O objeto não está movendo.
- (C) O objeto está se movendo com velocidade uniformemente crescente.
- (D) O objeto está se movendo com velocidade constante.
- (E) O objeto está se movendo com aceleração uniformemente crescente.



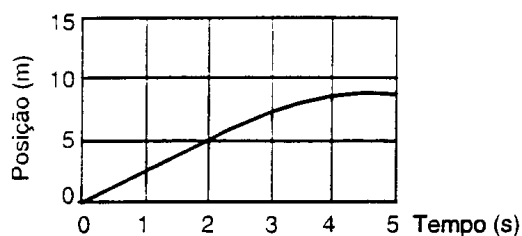
4 Um elevador se move do térreo ao décimo andar de um edifício. A massa do elevador é 1000 kg e ele se move como é mostrado no gráfico de velocidade-tempo abaixo. Qual a distância percorrida durante os primeiros três segundos de movimento?

- (A) 0.75 m
- (B) 1.33 m
- (C) 4.0 m
- (D) 6.0 m
- (E) 12.0 m



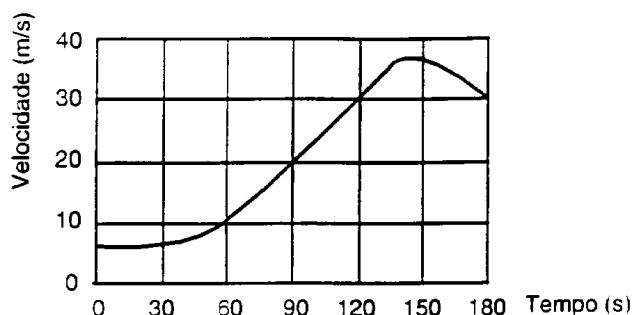
5 A velocidade no tempo $t = 2$ s é :

- (A) 0.4 m/s
- (B) 2.0 m/s
- (C) 2.5 m/s
- (D) 5.0 m/s
- (E) 10.0 m/s



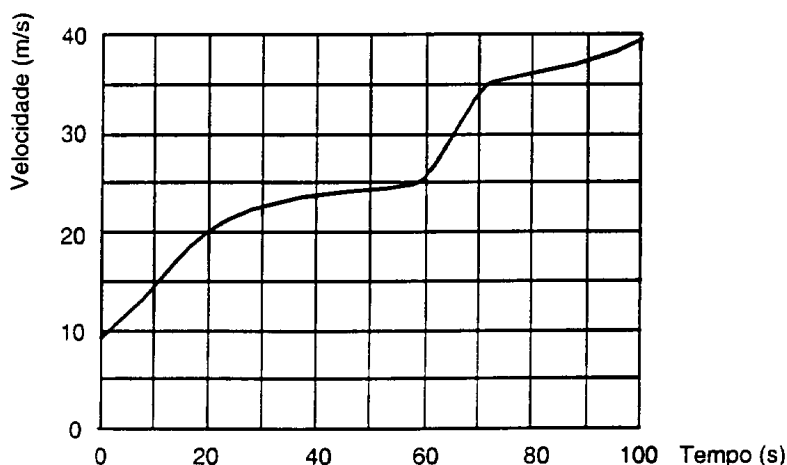
6 Este gráfico mostra a velocidade como função do tempo para um carro de massa 1500 kg. Qual é a aceleração em $t=90$ segundos?

- (A) 0.22 m/s^2
- (B) 0.33 m/s^2
- (C) 1.0 m/s^2
- (D) 9.8 m/s^2
- (E) 20 m/s^2

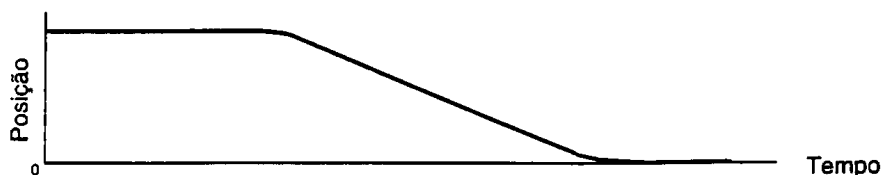


7 O movimento de um objeto viajando em linha reta é representado no gráfico abaixo. Em $t=65$ s, a magnitude da aceleração instantânea do objeto é aproximadamente:

- (A) 1 m/s^2
- (B) 2 m/s^2
- (C) $+9.8 \text{ m/s}^2$
- (D) $+30 \text{ m/s}^2$
- (E) $+34 \text{ m/s}^2$

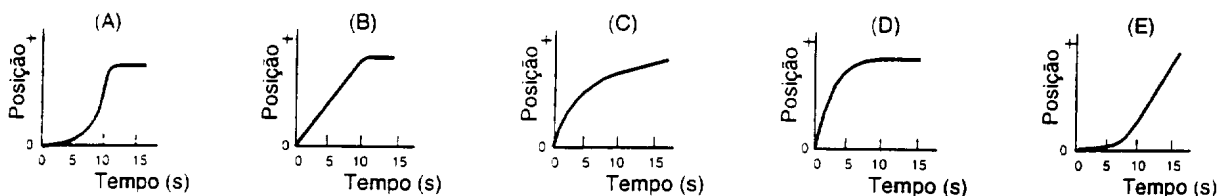


8 Abaixo vemos o gráfico do movimento de um objeto. Qual das sentenças a seguir é uma interpretação correta deste gráfico?

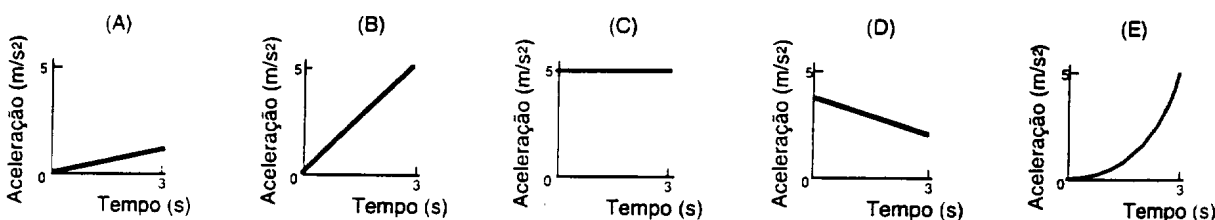


- (A) O objeto rola ao longo de uma superfície plana. Depois ele rola descendo uma montanha e finalmente pára.
- (B) O objeto não se move inicialmente. Depois ele rola descendo uma montanha e finalmente pára.
- (C) O objeto está se movendo com velocidade constante. Depois diminui a velocidade e pára.
- (D) O objeto não se move inicialmente. Depois se move para trás e finalmente pára.
- (E) O objeto se move ao longo de uma área plana, depois se move para trás descendo a montanha e então continua se movendo.

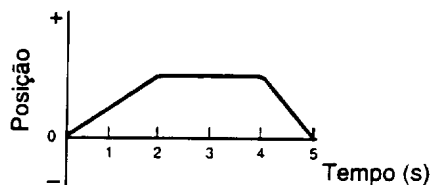
9 Um objeto partindo do repouso é acelerado com uma aceleração constante e positiva durante dez segundos, continuando então a velocidade constante. Qual dos seguintes gráficos corresponde a situação descrita?



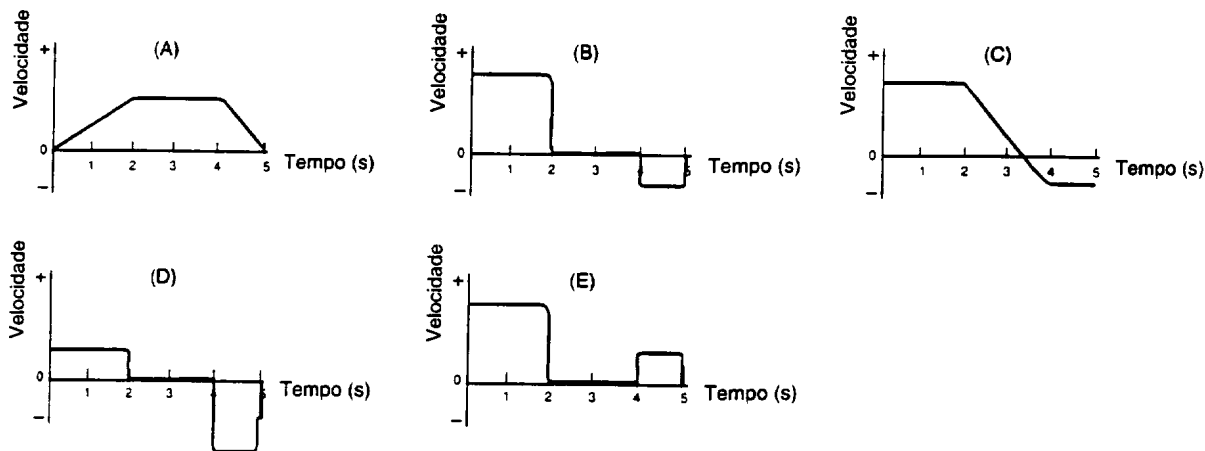
10 Cinco objetos se movem de acordo com os seguintes gráficos de aceleração versus tempo. Qual deles tem a menor variação na velocidade durante o intervalo de três segundos?



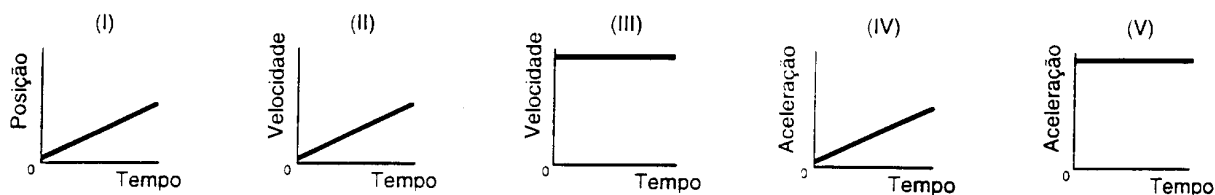
11 A seguir vemos o gráfico de posição-tempo de um objeto durante um intervalo de tempo de 5 segundos.



Qual dos seguintes gráficos de velocidade versus tempo representaria melhor o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



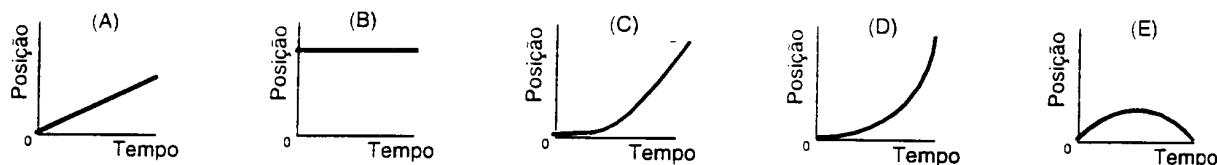
12 Considere os seguintes gráficos, notando os diferentes eixos:



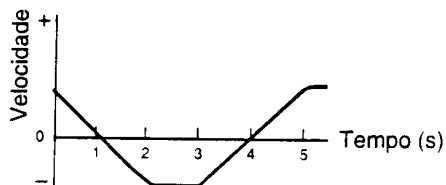
Quais desses gráficos representam o movimento a velocidade constante ?

(A) I, II e IV (B) I e III (C) II e V (D) IV somente (E) V somente

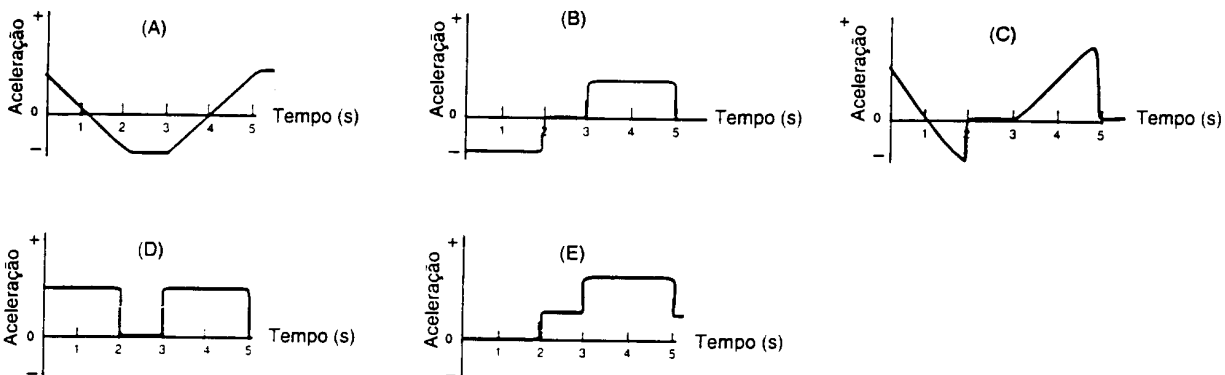
13 São mostrados abaixo os gráficos de posição versus tempo para cinco objetos. Todos os eixos tem a mesma escala. Qual dos objetos tem a maior velocidade instantânea durante o intervalo ?



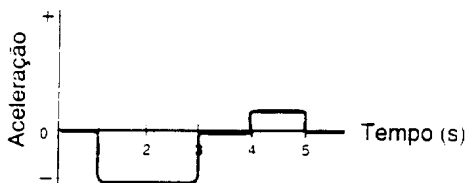
14 Considere o gráfico de velocidade-tempo para um objeto durante um intervalo de tempo de 5 segundos:



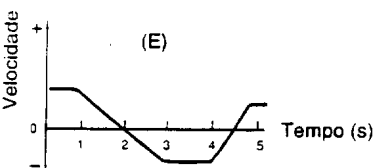
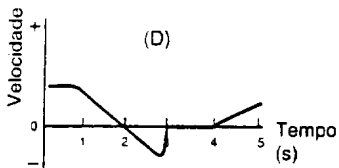
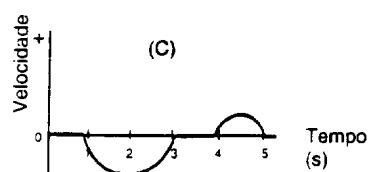
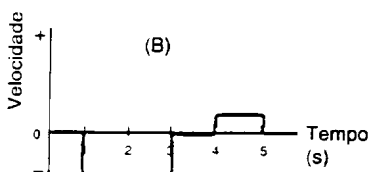
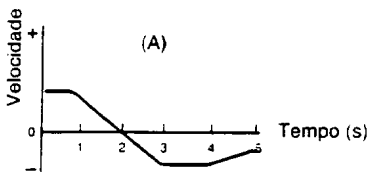
Qual dos seguintes gráficos de aceleração versus tempo representaria o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



15 Abaixo vemos o gráfico de aceleração para um objeto durante um intervalo de tempo de 5 segundos.



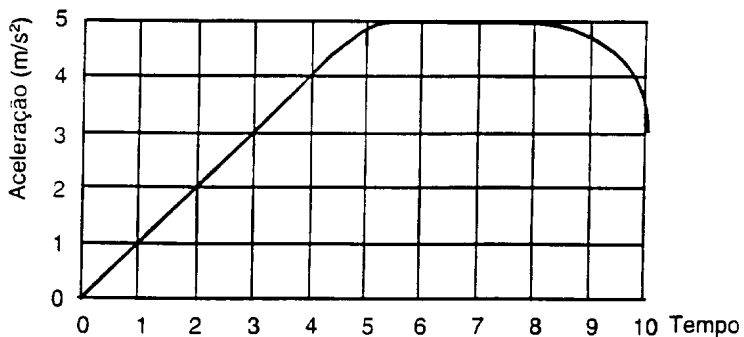
Qual dos seguintes gráficos de velocidade versus tempo melhor representa o movimento do objeto durante o mesmo intervalo de tempo?



16 Um objeto se move de acordo com o gráfico abaixo :

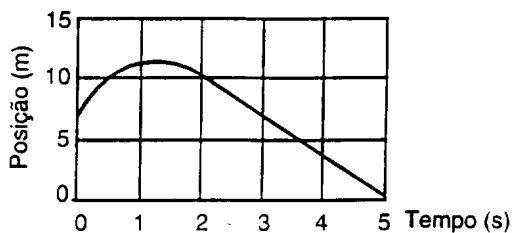
A variação na velocidade do objeto durante os primeiros três segundos de movimento foi :

- (A) 0.66 m/s
- (B) 1.0 m/s
- (C) 3.0 m/s
- (D) 4.5 m/s
- (E) 9.8 m/s



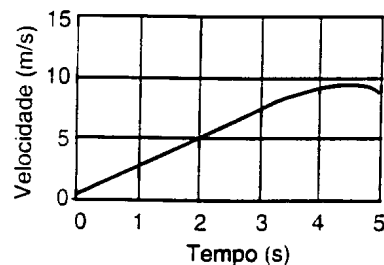
17 A velocidade no tempo $t = 3 \text{ s}$ é :

- (A) -3.3 m/s
- (B) -2.0 m/s
- (C) -0.67 m/s
- (D) 5.0 m/s
- (E) 7.0 m/s

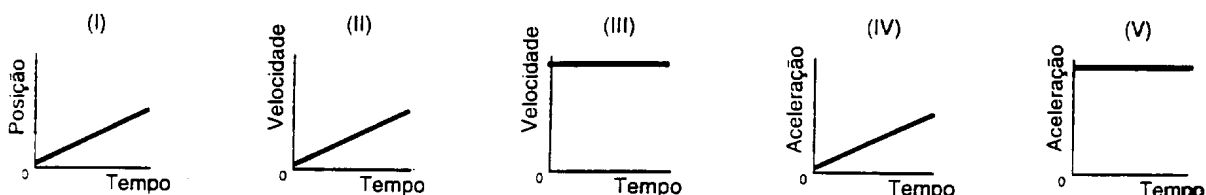


18 Se você desejar saber a distância percorrida durante o intervalo de $t=0$ s até $t=2$ s do gráfico abaixo, você deve :

- (A) ler 5 diretamente do eixo vertical.
 (B) encontrar a área entre o segmento de reta definido pelos pontos $(0,0)$ e $(2,5)$ e o eixo do tempo calculando $(5 \times 2)/2$.
 (C) encontrar a inclinação da reta dividindo 5 por 2.
 (D) encontrar a inclinação da reta dividindo 15 por 5.
 (E) não há informações suficientes para responder



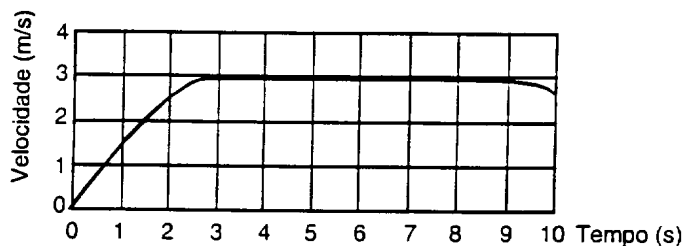
19 Considere os seguintes gráficos, notando os diferentes eixos :



Quais desses gráficos representam o movimento de aceleração constante, diferente de zero?

- (A) I, II e IV (B) I e III (C) II e V (D) IV somente (E) V somente

20 Um objeto se move de acordo com o gráfico abaixo :

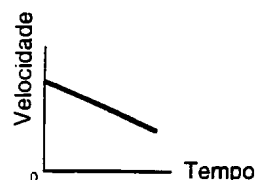


Qual é a distância percorrida durante o intervalo de $t=4$ s até $t=8$ s ?

- (A) 0.75 m (B) 3.0 m (C) 4.0 m (D) 8.0 m (E) 12.0 m

21 À direita está o gráfico do movimento de um objeto. Qual sentença melhor interpreta este gráfico ?

- (A) O objeto está se movendo com aceleração constante.
 (B) O objeto está se movendo com aceleração uniformemente decrescente.
 (C) O objeto está se movendo com velocidade uniformemente crescente.
 (D) O objeto está se movendo com velocidade constante.
 (E) O objeto não está se movendo.



Respostas :

1. B
2. E
3. D
4. D
5. C
6. B
7. A
8. D
9. E
10. A
11. D
12. B
13. D
14. B
15. A
16. D
17. A
18. B
19. C
20. E
21. A