ARQUIMEDES E A LEI DA ALAVANCA: ERROS CONCEITUAIS EM LIVROS DIDÁTICOS[+*12]

Henrique B. Cardoso
Departamento de Física – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Paulo de Tarso C. Freire
Josué Mendes Filho
Departamento de Física – Universidade Federal do Ceará

Resumo

A análise do livro didático há algum tempo vem tendo destaque nas publicações em revistas dedicadas ao ensino de Ciências. Erros conceituais, figuras ambíguas, experimentos inadequadamente sugeridos (por não funcionar ou trazer perigos ao estudante), entre outros, ainda são bastante comuns. Partindo do estudo do trabalho de Arquimedes "Sobre o equilíbrio dos planos ou os centros de gravidade dos planos – livro I", apresentamos uma tradução comentada e, tendo-a como ponto de partida, realizamos uma análise sobre a forma de como é abordado esse assunto nos livros didáticos de Física e de Ciências. Nossa investigação mostrou a existência de diversas inconsistências conceituais nos livros avaliados.

Palavras-chave: *Lei da alavanca, Arquimedes, equilíbrio, análise do livro didático.*

[+] Archimedes and the law of the lever: conceptual errors in school texts

[*] *Recebido: setembro de 2005.*
Aceito: abril de 2006.

[1] Apoio: CAPES e CNPQ.

[2] Trabalho parcialmente apresentado no SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 15. 2003, Curitiba. **Atas...** Curitiba: CEFET-PR, 2003. p. 1779-1789. 1 CD-ROM.

Abstract

In last times, the analysis of didactic texts books has gained importance in issues dedicated to science teaching. Conceptual mistakes, ambiguous figures and inadequate experimental proposes, which do not work or that are dangerous to the student, among others, are still quite common. From the fundamental work of Archimedes "On the equilibrium of planes or the center of gravity of planes - book one" we have developed an analysis of how this subject is treated in many Brazilian school texts books of both Physics and Science. Our investigations have shown several conceptual erroneous figures and other aspects in evaluated books.

Keywords: *The law of the lever, Archimedes, equilibrium, analysis of school Physics and Science texts books.*

I. Introdução

A análise do livro didático já vem, há algum tempo, ganhando especial atenção nas publicações em revistas dedicadas ao ensino das Ciências. Erros conceituais, figuras ambíguas, experimentos inadequadamente sugeridos, tanto pelo fato de não funcionarem quanto pelo fato de trazerem perigos ao estudante, entre outros, ainda são bastante comuns. Com a exigência do Ministério da Educação de submeter a uma análise criteriosa[3] os livros a serem comprados pelo Governo Federal, a revisão dos materiais didáticos pelos autores e editoras se tornou urgente. Isso representa um avanço no que diz respeito à melhoria das publicações didáticas em nosso país, onde artigos direcionados aos problemas do livro didático são de extrema importância como instrumento de auxílio e orientação dessas análises.

Diversos foram os problemas abordados sob forma de artigos nesta revista (DORNELES FILHO, 1996; CALDAS; MAGALHÃES, 1997, 2000; TREVISAN et al. 1997; PIMENTEL, 1998; MARTINS, 2000; MEDEIROS; MONTEIRO, 2002; RICCI; OSTERMANN, 2002, 2004; CANALE, 1999) mostrando a preocupação de vários pesquisadores com o tema. Neste artigo,

---

[3] Para maiores detalhes acessar, na página do Ministério da Educação, o link Programa Nacional do Livro Didático ou http://portal.mec.gov.br/seb/index.php?option=content&task=view&id= 370&Itemid=354

visando contribuir com essa discussão, apresentamos uma análise da abordagem da Lei da Alavanca de Arquimedes apresentada nos livros didáticos e os problemas inerentes da interpretação errônea, ora histórica, ora experimental, de seus resultados e as conseqüências para o seu ensino.

II. A lei da alavanca de Arquimedes

Arquimedes de Siracusa, matemático grego (287-212 a.C), uma das figuras mais importantes da Grécia antiga, já é bastante conhecido nos livros didático de Física e de Ciências por contribuições dadas ao estudo da mecânica, geometria, astronomia e por seus engenhosos instrumentos mecânicos, tais como o parafuso sem fim (ou parafuso de Arquimedes), talvez o mais conhecido. Neste artigo, abordaremos a sua lei da alavanca levando em consideração uma análise do seu trabalho original *Sobre o Equilíbrio dos Planos ou os centros de Gravidade dos Planos.* Apresentaremos na próxima seção um resumo das principais proposições relativas à lei da alavanca, de nosso interesse.

Devemos salientar que, inicialmente, ao formular a Lei da Alavanca, Arquimedes a demonstra matematicamente em uma circunstância puramente estática. Isso tem importantes implicações porque as situações apresentadas nos livros didáticos consultados, embora considerando isso, nunca poderão ocorrer, ou seja, a alavanca só ficará em equilíbrio se o seu peso for considerado. Por exemplo, em um dos livros consultados por nós, os autores (ALVARENGA; MÁXIMO, 1993, p. 366) definem a Lei da Alavanca da seguinte forma:

Considere uma barra rígida, isto é, uma alavanca, apoiada no ponto O [ver Fig. 1] *tendo um corpo de peso $\boldsymbol{F_2}$ suspenso em uma de suas extremidades. Arquimedes descobriu que uma pessoa consegue equilibrar este peso se exercer, na outra extremidade da alavanca, uma força $\boldsymbol{F_1}$ tal que*

$$F_1 d_1 = F_2 d_2 \quad (1)$$

onde d_1 e d_2 são as distâncias mostradas na Fig. 1.

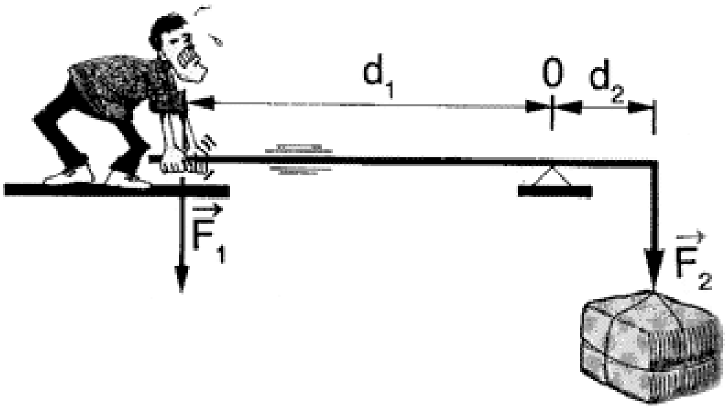


Fig. 1 - Exemplo da lei da alavanca representada em alguns livros didáticos.

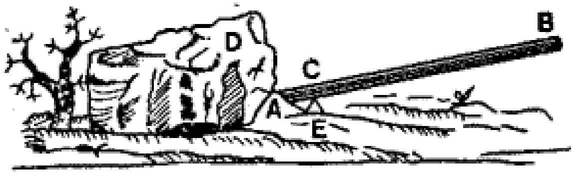
O que está dito no enunciado jamais poderá ocorrer na prática, pois devemos levar em consideração a posição do centro de massa da alavanca. Poderíamos utilizando uma régua escolar, uma caneta como apoio e algumas moedas idênticas tentar demonstrar a situação da figura acima. Se a lei fosse verdadeira, o conjunto se equilibraria.

Na verdade, o que Arquimedes estudou não foi a Lei da Alavanca como ilustrada acima, mas sim, mudando um pouco de nomenclatura, a "*Lei de Equilíbrio de uma Alavanca*", pois seu interesse era estudar as condições de equilíbrio de uma alavanca e calcular o centro de gravidade de figuras planas.

O que acontece na Fig. 1 é que, uma vez que o centro de gravidade da barra está entre o ponto de apoio (O) e o ponto de aplicação da força F_1, seguindo a definição da Lei da Alavanca representada na figura, ao aplicarmos a força F_1, ainda somos ajudados pelo peso da barra, que causa um acréscimo no torque resultante (ou momento da força) no sentido anti-horário devido ao próprio peso da alavanca. Portanto, para o efeito esperado, a força F_1 deverá será ligeiramente menor que o seu valor dado na expressão (1) da Lei da Alavanca.

Esse cuidado com o peso da alavanca foi levado em consideração por Galileu Galilei (1564-1642) no seu livro *Duas Novas Ciências* quando descreve o seu funcionamento, conforme demonstra a passagem:

> *Salviati – (...) Assim, por exemplo, se imaginamos uma alavanca, ou seja, esta BA, a qual, colocada sobre o ponto de apoio*
> *E, é usada para levantar uma pedra muito pesada D, é evidente, de acordo com o princípio demonstrado, que a força aplica-*



> *da na extremidade B será suficiente para equilibrar a resistência do grave D, desde que seu momento (momento) esteja para o momento D na mesma proporção que a distância AC tem para a distância CB; e isto é verdade sem que se faça intervir outros momentos além daqueles da força aplicada a B e da resistência em D, como se a própria alavanca fosse imaterial e sem gravidade* [grifo nosso]. *Mas, se levamos em conta também o peso do próprio instrumento, o qual pode ser de madeira ou de ferro, fica claro que, se acrescentarmos à força em B o peso da alavanca, a proporção será alterada, pelo que devemos expressá-la em termos diferentes. Eis por que, antes de continuar, é necessário que estejamos de acordo em distinguir estas duas maneiras de considerar, dizendo que numa o tomamos absolutamente (prendere assolutamente), quando consideramos o instrumento em abstrato, ou seja, separado da gravidade da própria matéria; e noutra, quando acrescentarmos a matéria e com esta a gravidade às figuras simples e absolutas* [grifo nosso]*, designaremos as figuras unidas à matéria pelo termo momento ou força composta (momento o forza composta).* (GALILEI, 1988, p. 114)

Podemos ver, então, que Galileu faz uma distinção clara entre as duas maneiras de considerar a Lei da Alavanca de Arquimedes, uma na situação abstrata, na qual a gravidade é separada da própria matéria (irreal) e a outra em que ela é considerada na situação concreta – sem desprezar o peso da alavanca.

A situação apresentada na Fig. 1 poderia ser resolvida de forma bastante simples se modificássemos a posição da alavanca colocando seu centro de massa sobre o ponto de apoio, conforme representado na Fig. 2 abaixo. Assim a expressão 1 tornar-se-ia verdadeira e, de certa forma, exata.

Arquimedes não foi o primeiro a usar a Lei da Alavanca, nem mesmo o primeiro a formular ou apresentar a referida lei. Ela já era conhecida na escola aristotélica antes mesmo de sua formulação por Arquimedes. Segundo Dugas (1988), os aristotélicos a derivaram dinamicamente através da propriedade dos círculos, enquanto Arquimedes o fez matematicamente utilizando argumentos de simetria em situações estáticas.

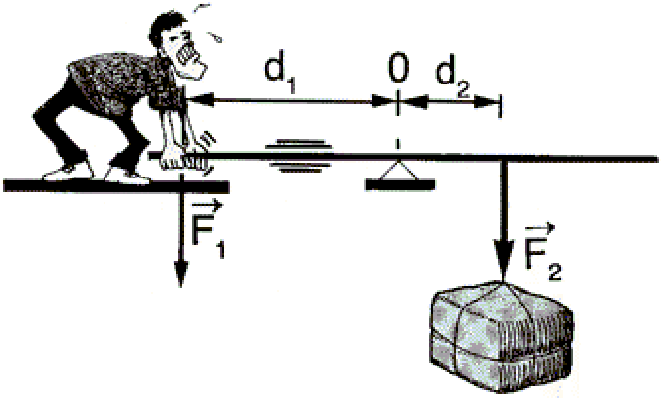


Fig. 2 - Correção da Lei da Alavanca de Arquimedes – o ponto de apoio da alavanca coincide com o seu centro geométrico. (Adaptação nossa)

A seguir, apresentaremos uma tradução simplificada e comentada, para fins didáticos, do trabalho *Sobre o Equilíbrio dos Planos ou os Centros de Gravidade dos Planos*, de Arquimedes, traduzido por Thomas L. Heath (1952). As simplificações se restringem às demonstrações geométricas das proposições e da exclusão de algumas proposições – por fugirem do escopo do nosso assunto. O leitor também poderá consultar uma tradução comentada desse trabalho de Arquimedes feita por Assis (1997).

III. Tradução simplificada e comentada do artigo de Arquimedes "Sobre o equilíbrio dos planos ou os centros de gravidade dos planos – livro I" [4]

Eu postulo o seguinte:

1. Pesos iguais a distâncias iguais estão em equilíbrio, e pesos iguais a distâncias desiguais não estão em equilíbrio, mas pendendo para o lado do peso que está a maior distância.

2. Se, quando pesos a certas distâncias estão em equilíbrio, alguma coisa foi adicionada a um dos pesos, eles não ficam [mais] em equilíbrio, mas inclinados para o peso ao qual foi feita a adição.

[4] HEATH, 1952, p. 502-509.

3. Similarmente, se alguma coisa é tirada de um dos pesos, eles não ficam em equilíbrio, mas pendendo para o peso do qual não foi nada tirado.
4. Quando figuras planas semelhantes e iguais coincidem quando sobrepostas uma sobre a outra, seus centros de gravidade coincidem do mesmo modo.
5. Em figuras que são desiguais, mas similares, seus centros de gravidade estarão situados similarmente. Por pontos situados similarmente em relação a figuras similares, entende-se pontos tais que se as linhas retas forem traçadas a partir deles, formando ângulos iguais, elas formam ângulos iguais com os lados correspondentes.
6. Se magnitudes [grandezas, extensões] a certas distâncias estão em equilíbrio, outras grandezas iguais a elas também estarão em equilíbrio nas mesmas distâncias.

Baseado nos postulados acima (referentes ao equilíbrio de uma alavanca) Arquimedes demonstrou as seguintes proposições:

PROPOSIÇÃO 1: *Pesos que se equilibram a distâncias iguais são iguais.*

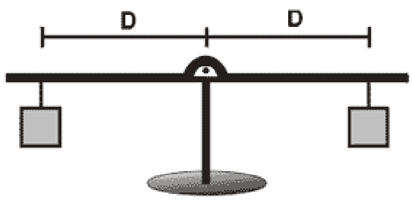


Fig. 3- Proposição 1.

Comentário*:* Se, ao colocarmos uma alavanca apoiada no seu centro de massa e suspendermos dois pesos a distâncias iguais em relação ao ponto de apoio, ela permanecer em equilíbrio é porque as massas dos dois corpos são iguais. Portanto, a condição de equilíbrio só será válida se a alavanca estiver posicionada com o seu centro de massa sobre o ponto de apoio. A demonstração segue por *reduction ad absurdum* baseada no postulado 3.

PROPOSIÇÃO 2: *Pesos desiguais a distâncias iguais não se equilibram e irão inclinar para o lado do peso maior.*

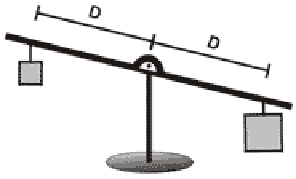


Fig. 4 - Proposição 2.

Comentário: A demonstração segue dos postulados 1 e 2.

PROPOSIÇÃO 3: *Pesos desiguais irão se equilibrar a distâncias desiguais com o peso maior estando à menor distância.*

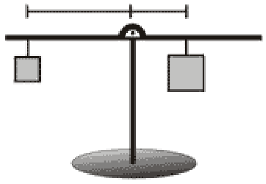


Fig. 5 - Proposição 3.

Comentário: A demonstração segue dos postulados 3, 1 e 2.

PROPOSIÇÃO 4: *Se dois pesos iguais não têm o mesmo centro de gravidade*[5]*, o centro de gravidade de ambos, tomados juntos, estão no ponto médio de uma linha unindo seus centros de gravidade.*

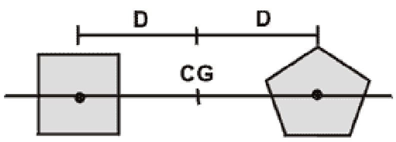


Fig. 6 - Proposição 4.

Comentário: Nesse caso, se colocarmos os dois corpos sobre uma alavanca, de forma a coincidirem os centros de massa dos corpos com o da alavanca, essa permanecerá em equilíbrio. A demonstração segue por *reduction ad absurdum* partindo da Proposição 3.

PROPOSIÇÃO 5: *Se três magnitudes iguais têm seus centros de gravidade sobre uma linha reta a distâncias iguais, o centro de gravidade do sistema irá coincidir com aquele de magnitude no meio.*

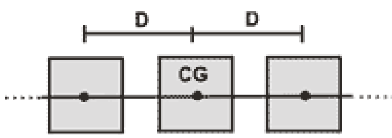


Fig. 7 - Proposição 5.

Comentário: Isso segue imediatamente da Proposição 4.

---

[5] Aqui centro de gravidade se refere ao centro de massa do conjunto. Note-se que o centro de massa e o centro de gravidade de um corpo coincidem quando o campo gravitacional nas redondezas é uniforme - o caso apresentado.

COROLÁRIO 1: *O mesmo é verdade para qualquer número de magnitudes ímpares se aquelas que estão a distâncias iguais, a partir da magnitude do meio, são iguais, enquanto as distâncias entre seus centros de gravidade são iguais.*

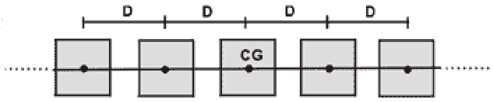


Fig. 8 - Corolário 1.

COROLÁRIO 2: *Se existe um número par de magnitudes com os seus centros de gravidade situados a distâncias iguais sobre uma linha reta, e se as duas magnitudes do meio são iguais, enquanto aqueles que estão eqüidistantes a partir deles (um de cada lado) são respectivamente iguais, o centro de gravidade do sistema é o ponto médio da linha unindo os centros de gravidade das duas magnitudes do meio.*

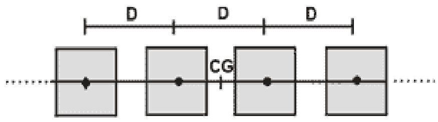


Fig. 9 - Corolário 2.

PROPOSIÇÕES 6 e 7: *Se duas magnitudes são comensuráveis*[6] [Prop. 6] *ou incomensuráveis*[7] [Prop. 7], *elas se equilibram a distâncias reciprocamente (inversamente) proporcionais às magnitudes.*

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{M_2}{M_1}$$

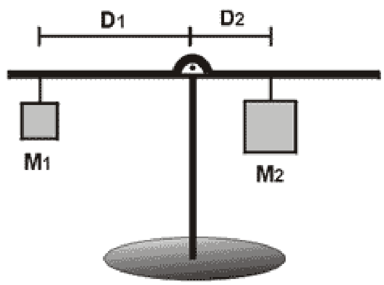


Fig. 10 - Proposições 6 e 7.

Comentário: Aqui Arquimedes demonstra a "Lei da Alavanca", que tem como nomenclatura alternativa "*Lei de Equilíbrio da Alavanca*". Então, se houver equilíbrio, a razão entre as distâncias é inversamente proporcional às suas correspondentes massas. Devemos lembrar que os corpos devem estar suspensos por um fio passando pelo centro de massa. Como a força peso atua no corpo como se toda a massa estivesse no seu centro de massa, a distância a ser

[6] Grandeza que contém certo número de vezes exatamente uma unidade convenientemente escolhida.

[7] Que não tem medida comum com outra grandeza.

medida corresponde ao braço dessa força, ou seja, à distância entre o ponto de apoio e o ponto de aplicação do peso.

PROPOSIÇÃO 8. *Se AE é uma magnitude cujo centro de gravidade é C, e AD uma parte dela cujo centro de gravidade é F, então, o centro de gravidade da parte restante será um ponto G, sobre FC*
tal que resulta:
$\frac{GC}{CF} = \frac{(AD)}{(DE)}$

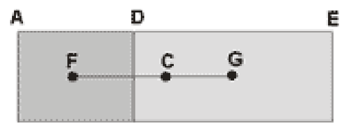


Fig. 11- Proposição 8.

Comentário: "Magnitude" aqui poderia significar "um corpo extenso de massa".

Por exemplo, o enunciado da proposição 8 poderia ser*: Se AE é "um corpo extenso homogêneo" de massa m_{AE}, cujo centro de gravidade é o ponto C, e AD uma parte deste corpo com massa m_{AD}, cujo centro de gravidade é o ponto F, então, o centro de massa da parte restante DE de massa m_{DE} será um ponto G que está localizado sobre uma linha que passa pelo segmento FC, tal que a razão entre os segmentos GC e CF é inversamente proporcional às massas das extensões AD e DE, ou seja,* $\frac{GC}{CF} = \frac{m_{AD}}{m_{DE}}$. Essa proposição nos possibilita obter um resultado bastante interessante. Consideremos uma haste (ou alavanca) homogênea de comprimento AE e massa M. Se a dividirmos em duas partes iguais, AD = DE, conforme indicado na Fig. 12 abaixo, partindo da proposição 8, podemos mostrar que, como m_{AD} e m_{DE} são iguais, as distância GC e CF também o são e o centro de massa da haste coincide com o seu centro geométrico. Assim, caso a haste esteja apoiada sobre seu centro de massa, este fica em equilíbrio. Portanto, quaisquer dois corpos que sejam colocados sobre uma alavanca homogênea, de tal forma que a posição do centro de massa do conjunto coincida com a posição do centro de massa da alavanca, todo o conjunto permanecerá em equilíbrio.

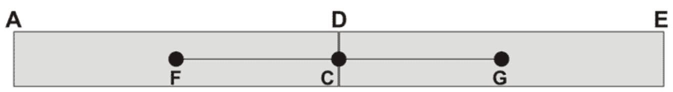


Fig. 12.

IV. Análise da Lei da Alavanca de Arquimedes nos livros didáticos

Escolhemos quatro livros-texto, dois adotados no ensino fundamental e dois no ensino médio, para realizarmos uma análise de como a Lei da Alavanca é abordada. Para cada um deles, apresentamos o excerto do texto original e, em seguida, os comentários. Essa escolha se justifica porque os comentários de cada situação mostrada se complementam e, de certa forma, cobrem todas as situações prováveis apresentadas em outros livros didáticos. Assim, acreditamos que os pontos apresentados podem ser trabalhados posteriormente, em conjunto, para diagnóstico desse assunto nos diversos livros-texto ou manuais didáticos existentes no mercado.

Livro: **Física: Ciência e tecnologia (volume único)** **Autor (es): TORRES, NICOLAU, PENTEADO & TOLEDO**[8] **Editora: Moderna** **Ano: 2001** **Serie: Todas as séries do Ensino médio**

Na apresentação do capítulo 8 (Máquinas Simples, p. 180), os autores escrevem:

> (...) *Entre suas descobertas* (de Arquimedes)*, está a lei que rege o equilíbrio da mais antiga das máquinas simples, a alavanca* [grifo nosso]. *Através dessa lei, pode-se constatar que, com uma força de pequena intensidade aplicada a uma alavanca, é possível equilibrar uma força muito mais intensa.*

Embora os autores se refiram, de forma correta, à "lei que rege o equilíbrio da mais antiga das máquinas simples, a alavanca", após definir o que é uma alavanca na página 181, pecam na página seguinte ao descreverem o seu equilíbrio. Vejamos o que está escrito.

[8] Escolhemos essa forma de apresentar as referências aos livros analisados para facilitar a identificação desse material pelos professores que os adotam.

Equilíbrio de uma alavanca

Vamos representar as forças que agem em uma alavanca. (Fig. 8.3) $\boldsymbol{F_R}$ *é a força resistente,* $\boldsymbol{F_P}$ *é a força potente e* $\boldsymbol{F_N}$ *é a força que o apoio exerce na alavanca. A distância* b_p *entre o ponto de apoio A e a força potente* $\boldsymbol{F_P}$ *chama-se* ***braço da força potente****, e a distância* b_R *entre o ponto de apoio A e a força resistente* $\boldsymbol{F_R}$ *é o* ***braço da força resistente****.*

Duas condições devem ser impostas para o equilíbrio da alavanca: ***equilíbrio de rotação*** *e* ***equilíbrio de translação****.*

Equilíbrio de rotação

O torque (ou momento) das forças que tendem a girar a alavanca no sentido horário, em torno do ponto de apoio A, deve anular o das forças que tendem a girar a alavanca no sentido anti-horário. Em módulo, temos:

$F_P\, b_P = F_R\, b_R$.

Equilíbrio de translação

A resultante das forças que agem na alavanca deve ser nula. Em módulo, temos: $F_N = F_R + F_P$.

A Fig. 8.3, pelo que sugere o texto, é uma representação da situação apresentada pela Fig. 8.2 do livro (Fig. 13 e 14). Podemos facilmente concluir que a condição de equilíbrio só será satisfeita se o peso da alavanca for levado em consideração.

Fig. 13 - Fig. 8.2 do livro de Torres et al., 2001, p. 181.

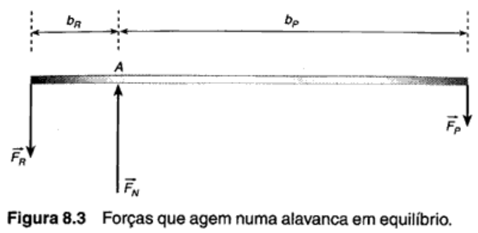


Fig. 14 – Fig. 8.3 do livro de Torres et al. , 2001, p. 182.

Esse erro é reforçado no exemplo de aplicação conforme a ilustração da Fig. 15.

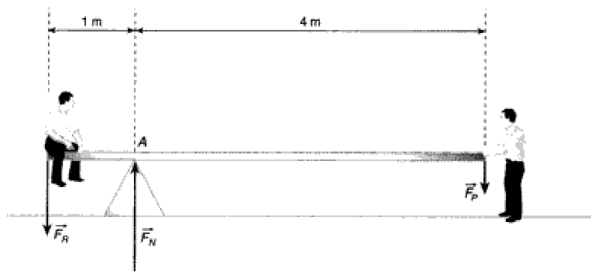


Fig. 15 - Figura da página 182 do livro de Torres et al. , 2001, p. 182.

Enunciado do problema: *Na alavanca mostrada na figura (gangorra), o peso do menino, que é a força resistente, tem intensidade de 500N. Determine a intensidade da força potente, sabendo que a alavanca está em equilíbrio.*

Portanto, embora façam uma descrição correta sobre as condições de equilíbrio de rotação, propõem e resolvem um problema de aplicação de forma conceitualmente errônea.

Livro 1:
Construindo com ciências: uma proposta construtivista
Autor (es): ERNESTO JACOB KEIM
Editora: FTD
Ano: 1997
Série: 8ª. do ensino fundamental

Na página 77 do livro 1, encontramos o seguinte enunciado:

2. Alavancas

Pegue uma régua, um bloquinho prismático e um bloquinho de chumbo. Coloque a régua apoiada sobre o bloquinho prismático em posição equilibrada.

a) Coloque o bloquinho de chumbo numa das extremidades da régua. Na outra, apóie o seu dedo e verifique o esforço que você tem que fazer para erguer o bloquinho [grifo nosso].

b) Mude a posição da régua: divida-a mentalmente em quatro partes iguais e a coloque sobre o bloquinho prismático apoiando-a a ¼ da extremidade livre. Com o dedo verifique a quantidade de esforço [grifo nosso] que você tem de fazer para erguer o bloquinho de chumbo.

c) Altere novamente a posição da régua apoiando-a a ¼ da extremidade que está com o bloquinho de chumbo. Sinta, com seu dedo, a quantidade de

<u>esforço necessária para erguer o bloquinho</u> [grifo nosso].

Analise o esforço aplicado nos três casos e escreva algumas frases sobre a vantagem mecânica oferecida pelas alavancas.

Note que, embora a proposta do livro se apresente de forma construtivista e pautada na experiência, a contextualização do conhecimento não aparece de forma clara no texto. O excerto acima retirado do texto é tudo que o livro traz de informação acerca de alavanca. Onde utilizamos a alavanca além da situação apresentada no texto? Qual a relação da alavanca com as máquinas simples, etc?

A frase, sublinhada no texto "verifique o esforço que você tem que fazer" pode ser interpretada como uma situação de medida. A palavra "esforço" está relacionada ao conceito de força e a palavra "verificar" à medida dessa força. Como podemos, então, medir esse "esforço" sem termos um instrumento de medida? Uma forma satisfatória para explorar esse experimento seria meramente qualitativa. Por exemplo, verificar a relação entre a distância de aplicação da força e o ponto de apoio e a facilidade para levantar o bloquinho de chumbo, solicitando um relatório ao aluno no qual ele descrevesse suas observações e possíveis conclusões sobre a experiência.

No enunciado da questão poderíamos perguntar: o que é um "bloquinho prismático"? Será que o aluno, ao ler o enunciado, saberá o que isto significa? Por exemplo, ao consultar o dicionário Aurélio eletrônico, encontramos que um prisma é um "poliedro em que duas faces são polígonos paralelos e congruentes, e as outras são paralelogramos". Vemos claramente que, se a linguagem enfatizada na proposta construtivista deve estar relacionada com o cotidiano dos alunos, encontramos, então, algo completamente sem coerência, principalmente para os propósitos introdutórios da Física, para os quais foi escrito o livro. O enunciado da questão e das atividades propostas, neste caso, acaba nos levando a inconsistências metodológicas e conceituais devido à imprecisão e à inadequação da linguagem (KLAMMER, 1998).

Livro 2:
Ciências Naturais: Aprendendo com o Cotidiano
Autor: EDUARDO LEITE DO CANTO
Editora: Moderna
Ano: 1999
Série: 8a. do ensino fundamental

Vejamos o que diz o autor:

Observando fatos experimentais

Os desenhos abaixo representam balanças pouco diferentes das usuais. Três delas estão equilibradas com a haste na horizontal. Você consegue elaborar algum método para prever se uma balança desse tipo estará, ou não, como (A), (B) e (C)?

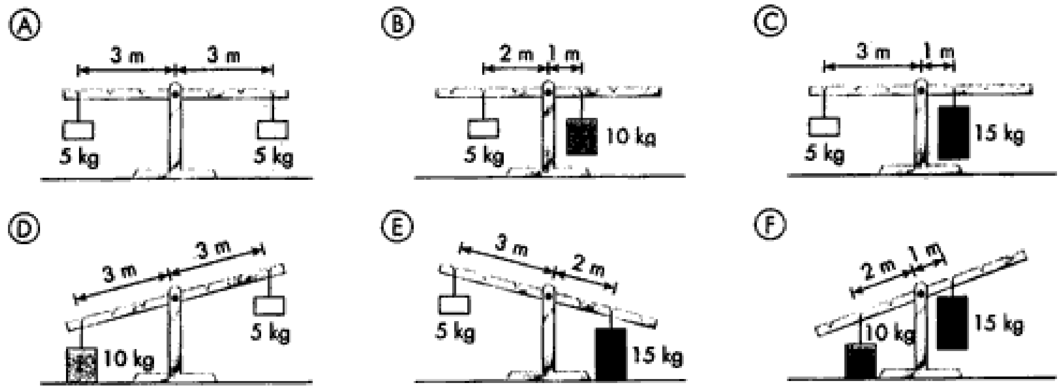


Fig. 16 - Figura apresentada na página 137 do livro de CANTO, 1999, p. 137.

Aprendendo com as observações

Equilíbrio de balanças

Se você analisar atentamente as figuras acima, poderá perceber que, nas balanças (A), (B) e (C), o produto da massa pela distância ao ponto de suspensão é igual em ambos os lados da balança. Por exemplo, no caso (C):

5 kg · 3m = 15kg · 1m (balança em equilíbrio)

Por outro lado, nas balanças (D), (E) e (F), o resultado dessa multiplicação não é igual. Além disso, o resultado é maior no lado que está mais baixo. Veja, como exemplo, o caso (F):

(lado mais baixo) 10kg· 2m > 15 kg·1m (lado mais alto)

Isso pode ser interpretado em relação ao centro de gravidade das massas penduradas na haste da balança (indicado por CG nos exemplos abaixo). Quando esse centro de gravidade se posiciona na vertical abaixo do ponto de suspensão (S), a balança está em equilíbrio com a haste na horizontal. Caso contrário não está.

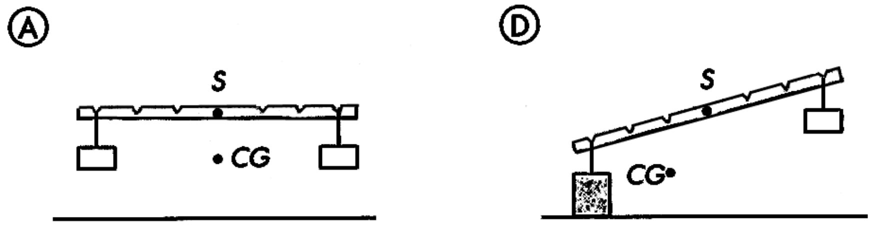


Fig. 17 - Figura apresentada na página 137 do livro de CANTO, 1999.

No que se refere à Lei da Alavanca, ou como o autor chama, "equilíbrio de balanças", o termo é bastante apropriado, pois se refere justamente a situações de equilíbrio. A figura apresentada é correta, ou seja, é uma balança de braços iguais. Logo, de acordo com os argumentos apresentados na preposição 8, a figura satisfaz a condição de equilíbrio quando "quaisquer dois corpos que sejam colocados sobre (ou suspensos) uma (numa) alavanca homogênea de tal forma que a posição do centro de massa do conjunto coincida com a posição do centro de massa da alavanca". O autor apresenta a condição de equilíbrio na passagem:

> *Isso pode ser interpretado em relação ao centro de gravidade das massas penduradas na haste da balança (indicado por CG nos exemplos abaixo). Quando esse centro de gravidade se posiciona na vertical abaixo do ponto de suspensão (S), a balança está em equilíbrio com a haste na horizontal. Caso contrário não está.*

O enunciado está correto, no entanto, o caráter do produto Força (ou massa) vezes a distância do ponto de aplicação do peso do corpo ao ponto de suspensão aparece de forma independente da situação de equilíbrio. Essa situação é problemática, pois poderá gerar dificuldades cognitivas para a compreensão do conceito de torque ou momento de uma força como sendo o "efeito girante de uma força" e sua relação com o equilíbrio de rotação de um corpo rígido (ARONS, 1996).

As situações apresentadas também poderiam ser melhoradas através da discussão de experimentos envolvendo o equilíbrio de uma alavanca. Uma forma simples de apresentar esse assunto, utilizando experimentos simples, pode ser encontrada em Cardoso (2003).

Livro:
Física 1
Autor (es): FERNANDO CABRAL & ALEXANDRE LAGO
Editora: Harbra
Ano: 2002
Serie: 1º ano do ensino Médio

No capítulo 8 desse livro, os autores tratam da mecânica dos corpos rígidos, especificamente na situação estática. Nas seções de 1 a 4, os autores abordam, respectivamente: linha de ação de uma força, movimento de translação e rotação, centro de massa; definição de torque; condições de equilíbrio de corpos rígidos; máquinas simples. É interessante observar a forma de abordagem nesse livro que, inicialmente, define torque e o aplica em situações nas quais o peso do corpo extenso é levado em consideração (Exercício resolvido 4: Cálculo das forças sobre uma escada, p. 393), entretanto, ao falar das alavancas, o peso é esquecido. Na página 399, os autores escrevem:

Vamos analisar a situação em que existe equilíbrio mecânico na alavanca, ou seja, quando a força resultante é zero e a soma dos torques também é zero [Grifo nosso].

Na figura 8.20 vemos o diagrama de forças que atuam na alavanca. F_1 é a força aplicada (pelo homem), F_2 a força peso da carga e N a normal, que é aplicada pelo ponto de apoio. Os braços da alavanca são x_1 e x_2, respectivamente.

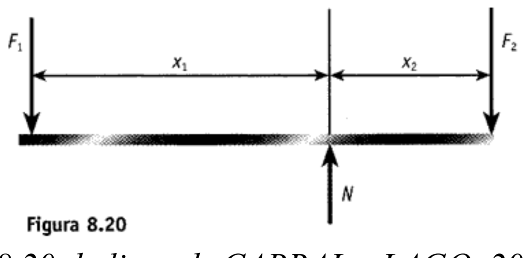


Fig. 18 - Fig. 8.20 do livro de CABRAL e LAGO, 2002, p. 399.

As condições de equilíbrio são:
Força resultante = 0 (alavanca não está sendo acelerada), portanto
$-F_1 - F_2 + N = 0$
Soma dos torques = 0 (alavanca não tem aceleração angular)

$F_1 x_1 - F_2 x_2 = 0.$

Podemos observar que a soma dos torques, sublinhada no primeiro parágrafo acima, não pode ser zero. Este mesmo lapso conceitual também se repete nos livros de Carron e Guimarães[9] (2001) e Bonjorno e Clinton[10] (1997), ambos voltados para o 1º ano do ensino médio.

V. Considerações finais

Em todos os livros consultados, em momento algum é tornado explícito que a equação da alavanca de Arquimedes, da forma proposta pelos autores, representa somente uma aproximação. Isso pode ser adequado para definirmos os três tipos de alavancas (interfixa, interpotente e inter-resistente), mas devemos evitar falar de condição de equilíbrio, pois, em momento algum, ele existe.

O ensino da lei da alavanca nos mostra que ainda há a permanência, no ensino da Física básica, de situações fictícias e distantes da realidade vivencial dos alunos. Pouco tempo atrás, Martins (2000) apresentou uma análise sobre “Arquimedes e o problema da coroa do rei Hieron” na qual, através de argumentos plausíveis, mostra que a descoberta da falsificação da coroa por Arquimedes, da forma como é apresentada na maioria dos livros didáticos, é inconsistente conceitualmente e sem base histórica.

Sugerimos a nomenclatura de “Lei de Equilíbrio da Alavanca”, obviamente, para a situação em que ela realmente se encontra em equilíbrio, conforme o trabalho de Arquimedes. Reservamos a nomenclatura “Lei da Alavanca” para quando levamos em consideração que essa seria uma lei aproximada, podendo ser utilizada para definirmos os tipos de alavancas em situações abstratas nas quais desprezamos a massa da alavanca. Entretanto, parece-nos que o mais correto seria corrigirmos as situações físicas quando apresentamos a Lei da Alavanca de Arquimedes para situações de equilíbrio e massa não desprezível, mas fica para o leitor encontrar o melhor caminho.

Como conseqüência de nossa análise, poderíamos, para finalizar, destacar alguns possíveis critérios para avaliação de tópicos ou temas de Física apresentados em livros didáticos. São eles:

---

[9] CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **Física**. São Paulo: Moderna, 2001. 1 v.

[10] BONJORNO, R. F. S. et. al. **Temas da Física**. São Paulo: FTD, 1997. v. 1.

• Investigar as bases históricas. Buscar ler os originais sobre determinado tema ou assunto (no nosso caso, os originais de Arquimedes e a interpretação dada por outros autores relacionados ao seu trabalho);

• Procurar confirmar a validade da teoria, sempre que possível, com o auxílio de experimentos de baixo custo – essa situação será apresentada em futuro trabalho[11];

• Comparar o poder preditivo das explicações ou justificativas sobre o fenômeno físico (explorar diversas situações-problemas relacionadas ao assunto tentando verificar a validade e os limites de aplicação da teoria); e

• Verificar a abordagem do assunto em vários livros-texto de Física ou manuais de diversos autores.

Referências

ARONS, A. B. **Teaching introductory physics**. USA: John Wiley & Sons, 1997.

ARQUIMEDES. **The works Archimedes**. Trad Thomas. L. Heath. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952. Great books of the western world . v. 11.

ASSIS, A. K. T. Sobre o equilíbrio dos planos, tradução comentada de um texto de Arquimedes. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 18. p. 81-94, 1997.

CALDAS, H.; MAGALHÃES, M. E. Rolamento sem escorregamento: atrito estático ou atrito de rolamento? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, p. 257-269, dez. 2000.

CALDAS, H.; MAGALHÃES, M. E. Sentido das forças de atrito e os livros de 8ª série. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 1, p. 7-21, abr. 2000.

CANALLE, J. B. Explicando astronomia básica com uma bola de isopor. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 314-331, dez. 1999.

CARDOSO, H. B. **Física na prática**: contextualizando experimentos de mecânica. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha, 2003. 128p. (Coleção Magister)

DUGAS, R. **A history of mechanics**. Dover, 1988.

[11] Veja Cardoso (2003).

DORNELES FILHO, A. A. Uma questão em Hidrodinâmica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 1, p. 76-79, abr. 1996.

GALILEI, G. **Duas novas ciências**. Tradução: Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda. 2. ed. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins; São Paulo: Nova Stella, 1988.

KLAMMER, J. An overview of techniques for identifying, acknowledging and overcoming alternate conceptions in Physics Education. Klingenstein Project 1997/98. Disponível em: <http://www.klingenstein.org/Additional_Resources/projects/abstracts/klammer_abstract.htm> Acesso em: 17 mai. 2002.

MARTINS, R. A. Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 115-121, ago. 2000.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO, M. A. A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria copernicana nos livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 29-52, abr. 2002.

PIMENTEL, J. R. Livros didáticos de ciências: a Física e alguns problemas. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 3, p. 308-318, dez. 1998.

RICCI, T. F.; OSTERMANN, F. Relatividade no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 83-102, abr 2004.

RICCI, T. F.; OSTERMANN, F. Relatividade no ensino médio: Contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, p. 176-190, ago. 2002.

TREVISAN, R. H.; LATTARI, C. J. B.; CANALLE, J. B. Assessoria na avaliação do conteúdo de astronomia dos livros de ciências do primeiro grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 1, p. 7-16, abr. 1997.

TREVISAN, R. H.; LATTARI, C. J. B.; CANALLE, J. B. Análise do conteúdo de Astronomia de livros de Geografia de 1º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 254-263, dez. 1997.