

# Utilização da experimentação para a determinação da aceleração da gravidade utilizando a máquina de Atwood

---

HUMBERTO PAIVA<sup>1</sup>

MAURO SÉRGIO TEIXEIRA DE ARAÚJO<sup>2</sup>

## Resumo

*O presente trabalho apresenta uma atividade experimental de execução simples utilizando a máquina de Atwood para a determinação da aceleração da gravidade. Tal atividade se mostra eficiente na apresentação das leis de Newton ressaltando a diferenciação conceitual entre os conceitos de Peso e Massa. É feito um relato de sua aplicação no ciclo básico de ensino superior e sugere sua adequação, também, aos outros níveis de ensino.*

**Palavras-chave:** Medida da aceleração da gravidade; máquina de Atwood; Massa e Peso.

## Abstract

*This paper presents an experimental activity using the simple execution Atwood machine to determine the acceleration of gravity. Such activity is efficient in the presentation of Newton's laws emphasizing the conceptual differentiation between the concepts of weight and mass. A report of his application in the basic cycle of higher education is made and also suggests its suitability for other levels of education.*

**Keywords:** Acceleration of gravity measure; Atwood machine; Mass and Weight.

## Introdução

Apesar de constituir-se um pilar importante para a construção do que hoje entendemos como a ciência Física, a utilização de práticas experimentais para fins pedagógicos tem sido criticada por diversos autores. Os principais argumentos apresentados são:

- falta de planejamento e explicitação dos objetivos, (BORGES, 2002);
- fundamentação epistemológicas equivocada (HODSON, 1988, MILLAR, 1991

APUD BORGES, 2002);

- pretensão de atingir uma variedade de objetivos nem sempre compatível com uma mesma atividade (TAMIR, 1991);

---

Trabalho apresentado no III Encontro de Produção Discente em Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, realizado em 23 de novembro de 2013 (modalidade poster).

<sup>1</sup> CEFET-MG, Universidade Cruzeiro do Sul – [humpaiva@gmail.com](mailto:humpaiva@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Cruzeiro do Sul – [mstaraujo@uol.com.br](mailto:mstaraujo@uol.com.br)

- alto custo, não só em relação ao custo de aquisição e manutenção de equipamentos, mas também o tempo de preparação do professor e o tempo disponível na grade escolar. Cabe aqui lembrar que em aulas experimentais o número de alunos é limitado para um atendimento mais individualizado pelo professor/orientador (BORGES, 2002).

Segundo Borges (2002), são objetivos implícitos atribuídos por professores e alunos às atividades práticas:

- Verificar e comprovar leis e teorias científicas;
- Ensinar o método científico;
- Facilitar a aprendizagem e compreensão de conceitos;
- Ensinar habilidades práticas.

Considerando também as dificuldades práticas citadas acima, podemos adicionar como fatores de relevância o foco centrado em aspecto conceitual de reconhecida importância e de notória dificuldade de mudança conceitual.

Araujo e Abib (2003, p. 190), destacam dois aspectos fundamentais de consenso entre autores sobre o uso das atividades experimentais que justificam sua eficiência, que são: estímulo à participação, curiosidade e interesse, e a construção de um ambiente rico em situações novas e desafiadoras.

## **1 Objetivo**

Verificar a eficiência do método experimental usando a máquina de Atwood para a determinação experimental do valor da aceleração da gravidade, como recurso motivador e propiciador da compreensão do conceito de massa entre os alunos como relativo à inércia do sistema, diferenciando-o definitivamente do conceito de peso.

## **2 Metodologia**

Consiste na aplicação de um procedimento experimental a uma turma de alunos do ciclo básico de engenharia. O procedimento e a verificação experimental são feitos a partir de seus relatos de sua eficiência na compreensão adequada dos conceitos de mecânica.

Considerando-se que a função do experimento é fazer com que a teoria se adapte à realidade (ARRUDA, LABURU, 1998, p. 59), possibilitando que os conceitos

envolvidos sejam de fácil assimilação, foi proposta a utilização de um sistema de massa constante sob a ação de variados valores de força resultante.

### **3 Medida da aceleração da gravidade utilizando a máquina de Atwood**

Com larga utilização tanto no ensino médio quanto no ensino superior, a medida experimental da aceleração da gravidade tem como objetivos a verificação do movimento uniformemente acelerado da queda livre e a determinação numérica desta grandeza, a qual está presente em grande parte dos conteúdos abordados durante todo o curso da disciplina.

Inventada em 1784 por George Atwood, a máquina que leva seu nome é tida, segundo Khun (APUD OSTERMAN, 1996), como a primeira demonstração experimental da 2ª Lei de Newton. Trata-se de uma roldana que sustenta um sistema de dois corpos unidos por uma corda, como mostra a figura 1.



**Figura 1. Esquema de uma máquina de Atwood.**

Uma dificuldade usual na determinação experimental da aceleração da gravidade é envolver tempos muito pequenos para alturas de 1 m ou 2 m (típicas de laboratórios), em contrapartida, para alturas maiores, a influência da resistência do ar altera significativamente os resultados.

É possível medirmos acelerações menores sem a ajuda de um aparato eletrônico em situações que vão sendo alteradas a partir de acelerações pequenas e aumentando gradativamente coletando uma mostra de dados que possibilita a extrapolação para o caso da queda livre. Transferências sucessivas de massa de um lado para outro da máquina de Atwood possibilitam esse procedimento.

Liberando o conjunto a partir de uma posição inicial, este assume uma aceleração constante que pode ser medida com equipamentos simples como uma régua e um relógio. Basta que se meça o deslocamento de qualquer um dos lados da máquina e o tempo decorrido a partir de uma velocidade inicial nula. Para o cálculo, a utilizada é

$d=(a/2).t^2$ , sendo  $d$  a distância percorrida,  $a$  a aceleração do sistema e  $t$  o tempo decorrido da queda.

O procedimento experimental indicado é passar gradativamente as massas de um lado da máquina para o outro registrando suas acelerações de queda e fazendo o sistema tender à situação em que toda a massa fique em uma extremidade, caracterizando o movimento de queda livre.

A observação permite registrar valores que mostram uma variação linear das acelerações em função da proporção de massa de cada lado para a massa de todo o sistema, como mostra o gráfico 1.

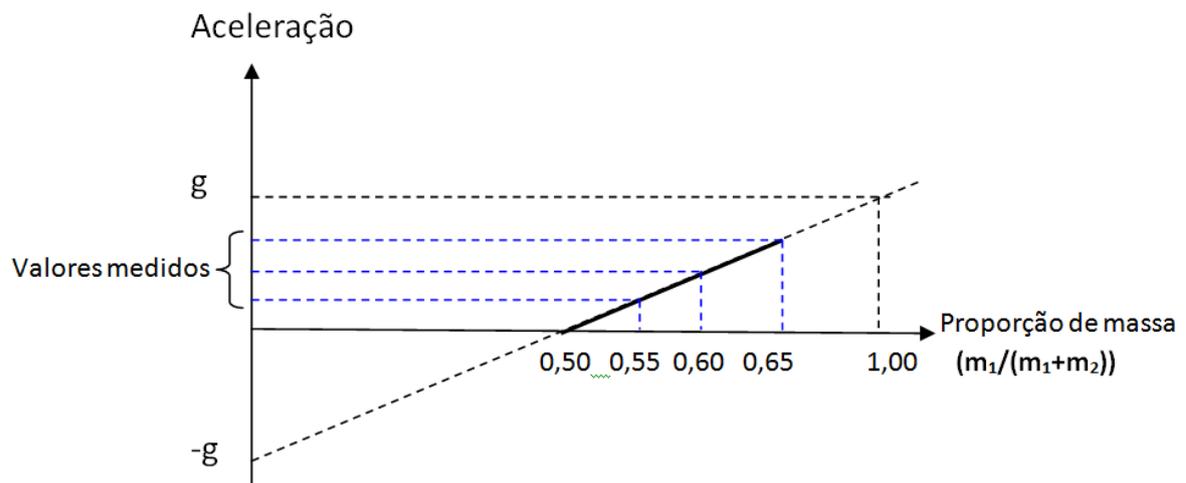


Gráfico 1: Variação da proporção de massas dos extremos da máquina de Atwood a partir do equilíbrio (0,5) tendendo ao caso da queda livre (1,00). A linha sólida mostra a curva gerada pelos dados obtidos, enquanto a linha segmentada mostra uma extrapolação dos dados.

Aplicado a duas turmas do curso de Física Experimental II do ciclo básico de engenharias do CEFETMG no ano de 2013, pudemos avaliar as possibilidades desse método.

1. Execução: A execução não trouxe qualquer problema para o aluno já que se trata de uma medida simples de tempo e altura. No entanto, foi necessário encorajar os alunos a fazerem medidas iniciais como treinamento com o intuito de tomarem intimidade com o processo.
2. Medidas: Os alunos foram orientados a pararem o procedimento quando se sentissem desconfortáveis para a tomada do tempo, para evitar faixas de

tempo que causassem maiores imprecisões. A faixa de valores de tempo tomados ficou limitada no mínimo ao valor de 1 segundo.

3. Tratamento de dados: Os alunos foram orientados a fazer o gráfico de seus resultados como mostrado na figura 2, e, após a regressão linear, extrapolar o gráfico para o valor de proporção de massa = 1,00.
4. Os alunos foram orientados a fazerem referências às leis de Newton em seus relatórios, o que demonstrou a pertinência do procedimento na caracterização dessas leis, já que grande parte dos trabalhos trataram adequadamente essas leis, destacando o papel da força de tensão da corda bem como a função da interação entre os dois corpos.

#### **4 Influência da inércia da roldana**

A resolução teórica do problema nos leva a seguinte expressão para o cálculo da aceleração do sistema, sem desprezar o efeito da inércia da roldana:

$$a = \frac{g(m_1 - m_2)}{\frac{I}{r^2} + m_1 + m_2}$$

sendo  $I$  o momento de inércia da roldana e  $r$  o seu raio.

Como na execução do procedimento foram usadas uma massa total de 100g e a massa do disco da roldana com uma massa menor que 5 g ( $I_{\text{DISCO}} = mr^2/2$ ), não esperamos uma variação maior que 2,5% no valor final em se desprezando a influência da inércia de rotação da roldana.

#### **5 Erros nas medidas**

A falta habilidade dos alunos na utilização do cronômetro ficou clara com o aparecimento de erros sistemáticos em vários grupos. Em alguns grupos o erro sistemático aparecia diminuindo os valores em outros diminuía o valor em relação ao esperado. Para amenizar esse problema os alunos foram orientados forçar uma ‘simetrização’ da curva, considerando que o valor para a função regressão no ponto  $x = 0$  deveria, como no  $x = 1$ , também ser o mesmo ( $g, -g$ ), fazendo uma média aritmética do módulo desses dois resultados, o que corrigiu significativamente o valor final em

relação ao valor de referência ( $g = 9,7838163 \text{ m/s}^2$  – medido no campus da UFMG – Belo Horizonte).

### **Considerações finais**

Como resultado da atividade, podemos citar o grande entusiasmo com que foram feitas as atividades e os ótimos resultados numéricos alcançados (pelo menos pelos grupos mais cuidadosos), nesses casos, o valor esperado de  $9,8\text{m/s}^2$  foi obtido com os ajustes citados acima. Depois dessa execução novas experiências foram feitas utilizando análise de filmagens de celular no computador em substituição do cronômetro o que resolveu o problema dos erros sistemáticos.

O procedimento se mostrou adequado à utilização como experimento didático não somente em função de sua simplicidade de execução e nenhuma necessidade de material específico, como talvez também por ser de grande facilidade de compreensão dos conceitos envolvidos.

Para outros níveis de ensino temos a opinião de que o procedimento seja ainda mais adequado, especialmente para a primeira série do ensino médio, quando os conceitos de massa e peso são enfaticamente definidos. Para o nono ano do ensino fundamental, é possível fazer uma brincadeira de “ver quem chega primeiro” com montagens de diferentes massas em diferentes relações levando à internalização da diferenciação dos conceitos de massa e peso de maneira lúdica.

Como se trata de um procedimento que não demanda material específico para sua execução, pode ser uma boa opção para a utilização em escolas sem grandes recursos, podendo, assim, atingir toda a rede escolar. O material utilizado pode ser substituído por rolamentos automotivos e pesos de balança. Acredita-se, assim, que iniciativas como essa podem ser boas sugestões para a melhoria do ensino dos conceitos físicos mais elementares.

Outras possibilidades para a medida da aceleração da gravidade mais comuns são o uso de recursos eletrônicos com largadores eletromagnéticos e cronômetros de maior precisão, que são equipamentos nem sempre acessíveis à maioria das escolas, em medida direta (MAROJA, 2005), e pelo período de oscilação de pêndulos (CAMPOS,

VEIGA e ARAUJO, 2011), o que exige uma formulação matemática mais avançada para sua compreensão.

## Referências

ARAUJO, M. S. T., ABIB, M. L. V. S, Atividades Experimentais no Ensino de Física – Diferentes Enfoques, diferentes Finalidades. *Revista Brasileira Ensino Física*, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.

ARRUDA, S. M., LABURU, S. M., Consideração sobre a função do experimento no ensino de ciências In: NARDI, R. (Org.) *Educação para a Ciência: EEDL*, São Paulo, 1998, p. 14 -24.

BORGES, A. Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

CAMPOS, A. C., VEIGA, S. V., ARAUJO, M. S. T., A experimentação no ensino de Física: Um caminho para a aprendizagem conceitual e para o desenvolvimento de competências In: AMARAL, C. L., MACIEL, M. D., R. (Org.) *Coleção Pesquisas e Práticas em Educação – Ciências e Tecnologias: TERRACOTA*, São Paulo, 2011, p. 95-121

HODSON, D. Towards a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, v. 72, n. 1, 1988.

MILLAR, R. A means to an end: the role of process in science education. In: WOOLNOUGH, B. (ed.) *Practical science: Milton Keynes: Open University Press*, 1991, p. 43-52.

OSTERMAN, F., Epistemologia de Khun, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13, n. 3, p. 184-196, 1996.

TAMIR, P. Practical work at school: An analysis of current practice. In: WOOLNOUGH, B. (ed.) *Practical science: Milton Keynes: 1991, Open University Press*, 1991.