



Estudo Teórico e Experimental Sobre o Atrito

Aluno: Cesar José Calderon Filho E-mail: cesinhacalderon@gmail.com

Orientador: André Koch Torres de Assis E-mail: assis@ifi.unicamp.br, homepage: www.ifi.unicamp.br/~assis

INSTITUTO DE FÍSICA “GLEB WATAGHIN”, UNICAMP, 13083-970, Campinas-SP

APOIO: Sae

RESUMO

Neste projeto, estudou-se as diferentes formas de atrito, sua formulação teórica e origens históricas. Em seguida, estudou-se um análogo mecânico da lei de Ohm. Este modelo foi baseado em um plano inclinado com pregos. Construiu-se uma rampa com pregos e mediu-se o tempo de queda de uma esfera ao longo de diversos comprimentos da rampa e também variando seu ângulo de inclinação em relação à horizontal. A partir disto tentou-se verificar se o comportamento mecânico da esfera é ou não compatível com o comportamento de um elétron livre em um resistor Ôhmico.

Introdução

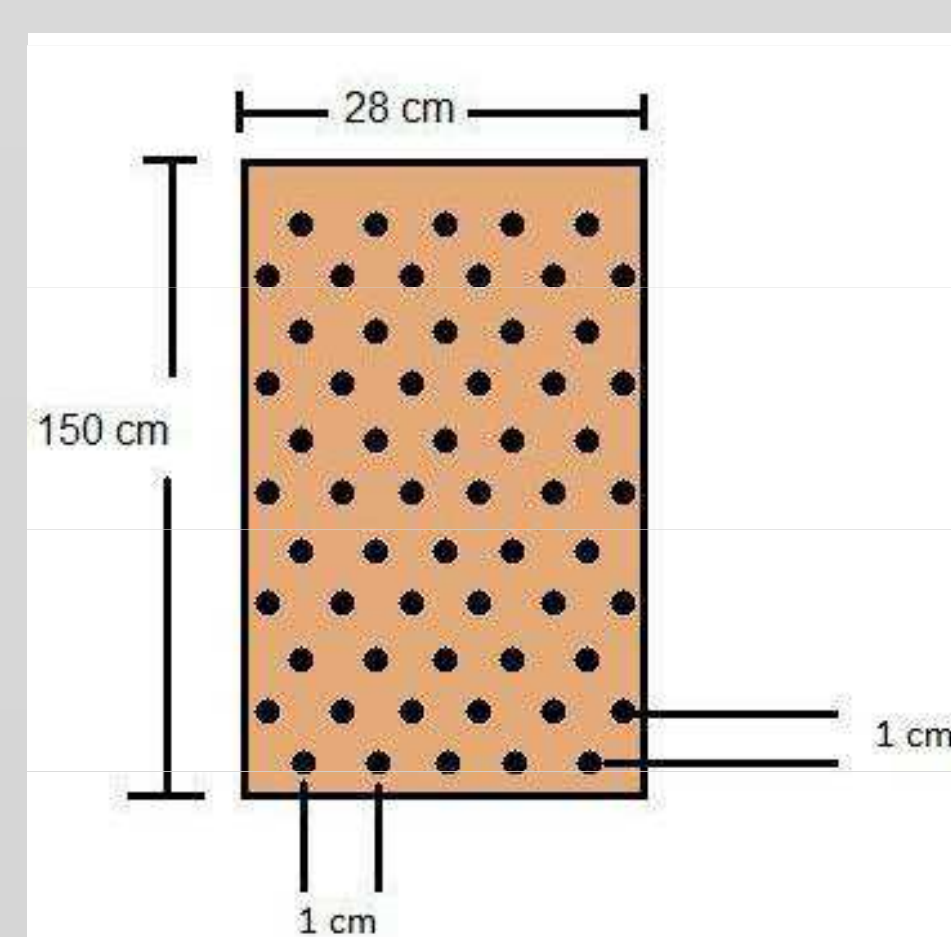
A utilização de forças dissipativas na vida do homem existe desde épocas remotas, como por exemplo, a geração de fogo por atrito. Outro exemplo, citado por [DOW79] é o transporte de grandes massas no Egito antigo, utilizando líquidos para atenuar o atrito entre o bloco que está deslizando e o solo. Porém, o estudo científico de maior importância se deve a Leonardo da Vinci (1492 – 1519), que verificou a influência na força de atrito da força normal à superfície, assim como a independência da área aparente de contato sobre a força de atrito. Mas seus trabalhos só foram publicados no final do século XIX [DOW79]. Logo eles não tiveram influência sobre os pesquisadores dos séculos XVI a XVIII. Guillaume Amontons (1663 – 1705) redescobriu as leis de atrito estático, publicando seus resultados em 1699. Leonhard Euler (1707 – 1783) propõe um modelo teórico da força de atrito em superfícies devido à rugosidade das superfícies, e também diferencia a força de atrito estática da força de atrito cinética. Coulomb (1726 – 1806) contribuiu de forma mais bem estruturada para os estudos sobre o atrito, chegando na lei do atrito cinético.

Existem, porém outras formas de atrito, e não somente o de superfície. Ocorre também na natureza atrito devido à viscosidade de um fluido, e o atrito elétrico (lei de Ohm). O objetivo deste projeto foi mapear as diferentes formas de atrito através da leitura de livros e artigos relacionados ao assunto. Foram estudadas as forças de atrito em superfícies, bem como as origens históricas de suas leis fundamentais. Foram também estudadas as forças de atrito viscosa e elétrica, que possuem grande analogia uma com a outra. Por último, e principal assunto deste trabalho, fez-se um estudo de um modelo mecânico da lei de Ohm, que consiste em uma rampa inclinada contendo vários pregos, percorrida por uma esfera em queda. Estudou-se a dependência da velocidade da esfera com o ângulo de inclinação da rampa, e se a velocidade da esfera é constante ao longo da mesma. O objetivo era verificar se tal modelo é equivalente à lei de Ohm. Algumas vezes este modelo é utilizado no ensino médio, como forma de auxiliar na aprendizagem da lei de Ohm.

Metodologia

A análise de um análogo mecânico de uma resistência elétrica, foi baseada no artigo [TBO91]. O estudo em questão era saber se este modelo representava fielmente a lei de Ohm. Na lei de Ohm temos uma corrente constante e ela é proporcional à tensão aplicada. A analogia mecânica desta situação é a de uma rampa com pregos (resistência), esfera em movimento (elétron livre), velocidade da esfera (velocidade de arraste dos elétrons) e inclinação da rampa (tensão elétrica). Para testar este modelo foi verificado inicialmente para uma inclinação constante da rampa se a velocidade média de queda era constante no tempo (ou seja, se o espaço percorrido era proporcional ao tempo gasto). Em seguida tentamos verificar com várias inclinações da rampa se a velocidade média de queda era ou não proporcional ao seno do ângulo de inclinação. A obtenção dos dados foi feita com o auxílio de um cronômetro, e o estudo dos dados com o auxílio de um computador e do software Microsoft Excel.

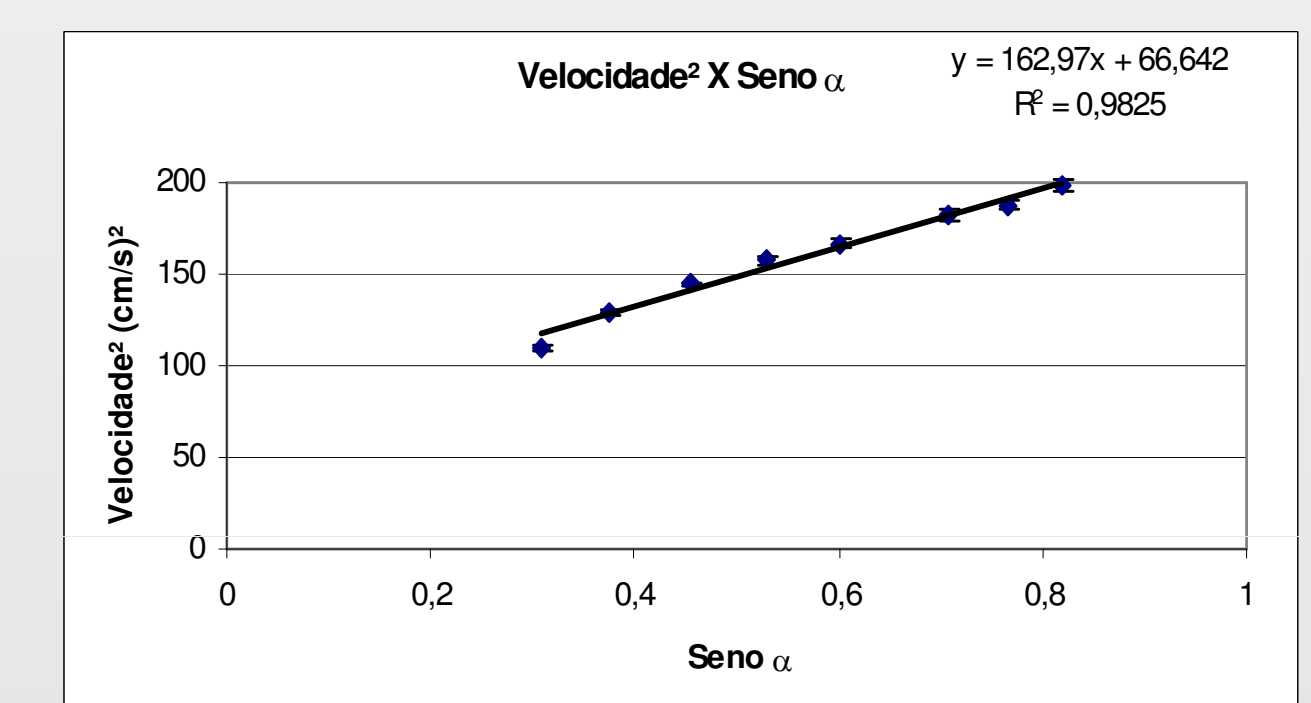
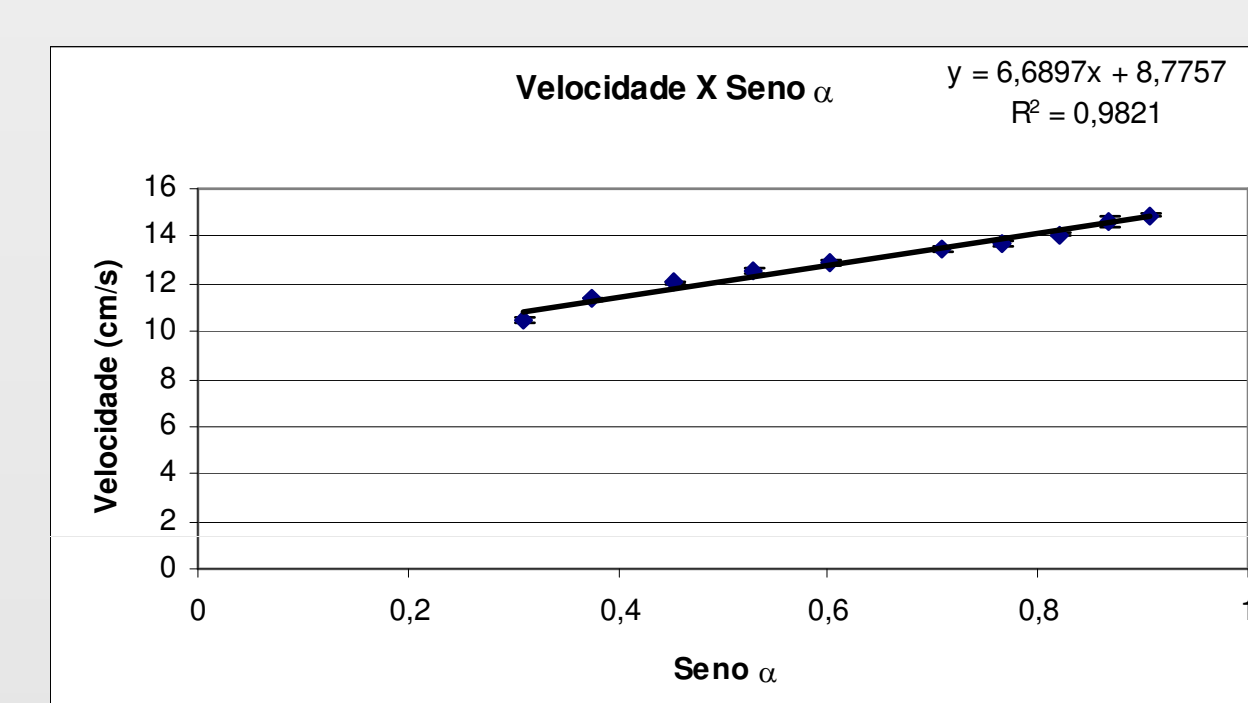
Foram colocados 31 pregos igualmente espaçados em cada linha. Foram feitas 149 destas linhas de pregos. Com isto utilizamos um total de 4.619 pregos em nossa rampa. Traçaram-se retas paralelas à base afastadas de 30 cm entre si, começando a partir da parte mais alta da rampa. Nosso objetivo inicial foi verificar se a velocidade média de queda da esfera era constante para uma inclinação fixa da rampa em relação à horizontal. Para isto medimos o tempo para uma esfera de aço percorrer as distâncias de 30, 60, 90, 120 e 150 cm.



A esfera era sempre solta do repouso no início da rampa. Mediu-se 30 vezes o tempo para percorrer cada distância. Desta forma melhoramos o tratamento estatístico dos dados. Conhecendo-se o tempo e a distância percorrida, era possível comparar as velocidades médias para cada distância.

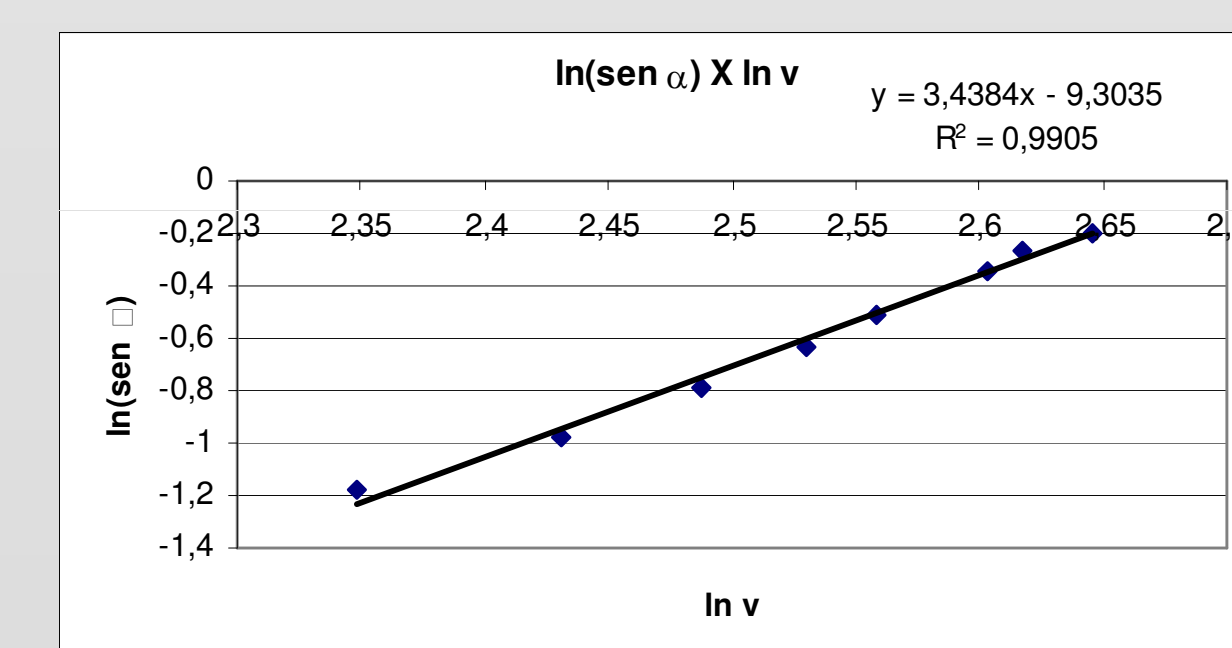
Ângulo	d = 30 cm	d = 60 cm	d = 90 cm	d = 120 cm	d = 150 cm
18°	10,9 ± 0,2	10,7 ± 0,1	10,5 ± 0,1	10,4 ± 0,1	10,5 ± 0,1
22°	11,4 ± 0,2	11,4 ± 0,2	11,4 ± 0,2	11,3 ± 0,1	11,4 ± 0,1
27°	11,8 ± 0,2	11,9 ± 0,1	12,0 ± 0,1	12,0 ± 0,1	12,0 ± 0,1
32°	12,3 ± 0,2	12,5 ± 0,1	12,5 ± 0,1	12,4 ± 0,1	12,6 ± 0,1
37°	12,6 ± 0,3	12,7 ± 0,2	12,6 ± 0,1	12,8 ± 0,1	12,9 ± 0,1
45°	13,3 ± 0,3	13,6 ± 0,2	13,4 ± 0,1	13,5 ± 0,1	13,5 ± 0,1
50°	14,0 ± 0,3	14,1 ± 0,2	13,5 ± 0,1	13,6 ± 0,2	13,7 ± 0,1
55°	14,1 ± 0,3	14,0 ± 0,2	14,2 ± 0,2	14,2 ± 0,1	14,1 ± 0,1
60°	13,8 ± 0,3	14,6 ± 0,2	14,1 ± 0,1	14,7 ± 0,2	14,6 ± 0,2
65°	14,9 ± 0,4	14,6 ± 0,2	14,6 ± 0,2	14,4 ± 0,2	14,9 ± 0,1

A segunda parte do nosso projeto foi tentar verificar se a velocidade média de queda da esfera era proporcional ao seno do ângulo de inclinação da rampa. Caso isto se verificasse, este seria um bom modelo mecânico da lei de Ohm (para a qual a velocidade de arraste dos elétrons é proporcional ao campo elétrico aplicado sobre eles). Supondo uma força de atrito devida a colisões como sendo uma lei de potências, $F_{at} = kv^n$, tem-se que $kv^n = mg \sin \alpha$. Nesta equação k é uma constante e n é a potência da velocidade. Espera-se que as leis possíveis que possam regular o atrito sejam com $n = 1$ ou $n = 2$. Para analisar estas possibilidades foram obtidos os seguintes gráficos linearizados da velocidade média v em função de seno de inclinação da rampa, $\sin \alpha$, para $n = 1$ e $n = 2$.



Tentamos também descobrir qual é a melhor potência que se ajusta com os dados. Para isso, basta fazer um gráfico de $\ln(\sin \alpha)$ X $\ln v$. Se a dependência é do tipo $\sin \alpha = Cv^n$, obtém-se:

$$\ln(\sin \alpha) = \ln C + n \ln\left(\frac{v}{m/s}\right)$$



Verifica-se que a lei ideal é aquela com $n = 3,44$, o que é próximo do valor $7/2$. E o valor ideal de $\ln C$ é $-9,30$. Dessa forma, o valor de C é em torno de $9,1 \times 10^{-5} (m/s)^n$, onde $n = 3,44$ é o valor encontrado anteriormente.

Concluimos que a velocidade média de queda da esfera ao longo de uma rampa com inclinação constante em relação à horizontal é constante qualquer que seja a distância percorrida ao longo da rampa. Mas não deu para concluir, ao variar a inclinação da rampa, se esta velocidade média é ou não linear com o seno de inclinação da rampa. Isto é, qualitativamente este modelo mecânico é análogo à situação de um circuito resistivo ligado a uma bateria no sentido de levar a uma velocidade constante. Mas ainda não é possível afirmar conclusivamente se este modelo mecânico é ou não quantitativamente análogo à lei de Ohm, no sentido de levar a uma velocidade média de queda proporcional ao seno de inclinação da rampa, como seria de esperar.

Referências

- [DOW79] - D. Dowson; History of Tribology, London: Longman, 1979
- [KRIM96] - J. Krim; Friction at Atomic Scale, Scientific American, October 1996, pp. 48– 56
- [TBO91] - M. d. C. Tavares, M. C. F. Boa, and P. M. C. d. Oliveira. A mechanical analogy for Ohm's law. Physics Education, 26:195 – 199, 1991.