

Iniciação ao método científico com ensaios de determinação de coeficientes de atrito

Introduction to the scientific method with tests for the determination of friction coefficients

FELIPE BATISTA DE LIMA ARAÚJO*¹, PAULO FERNANDO BARBIERI^{†2}

¹Faculdade de Tecnologia de Mogi Mirim - Fatec "Arthur de Azevedo"

²Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino - UNIFAE

Resumo

Este trabalho apresenta inicialmente uma singela visão do que é uma teoria científica unilateralmente através do princípio de falseabilidade e usa os ideais de verificação experimental para elucidar os princípios do método científico galileano. Para isso, experimentos de determinação dos coeficientes de atrito são colocados como objetos de estudo à compreensão do método científico. Os resultados de alguns desses experimentos (gráficos de dispersão) mostram uma relação de dependência entre massa, área aparente e coeficiente de atrito contrariando a teoria para o cálculo da força de atrito. No entanto, usando outro critério de análise, teste de hipóteses, foi possível mostrar que os resultados são válidos e a teoria não deve ser refutada (Princípio de Falseabilidade de Popper). O trabalho chama a atenção através dos resultados por alguns gráficos de dispersão (método amplamente usados para definir linhas de tendência) porque não devem ser apresentados como resultados únicos, carecendo de outras análises para não induzir a equívocos. O trabalho é direcionado principalmente para estudantes do Ensino Médio, mas também pode ser explorado por professores e alunos iniciantes da graduação que tenham interesse em discutir sobre pensamento científico, método científico, análise de dados e especificamente sobre força de atrito e coeficiente de atrito.

Palavras-chave: Método científico. Coeficiente de atrito. Teste de hipóteses. Falseabilidade.

Abstract

This work initially presents a simple view of what is a scientific theory unilaterally through the principle of falsifiability and uses the ideals of experimental verification to elucidate the principles of the Galilean scientific method. For that, experiments to determine the coefficients of friction are placed as objects of study to understand the scientific method. The results of some of these experiments (scatter plots) shows a dependency relationship between apparent area and friction

* E-mail: felipebl.araujo@gmail.com

† E-mail: paulo.barbieri@fatec.sp.gov.br

coefficient, contradicting the theory for the friction force calculation. However, using another analysis criterion, hypothesis testing, it was possible to show that the results are valid, and the theory should not be refuted (Popper's Falsifiability Principle). The work draws attention through the results of some scatter plots (a method widely used to define trend lines) that should not be presented as unique results, lacking other analyzes to avoid mistaking them. The work is aimed primarily at high school students but can also be explored by teachers and beginning undergraduate students who are interested in discussing scientific thinking, scientific method, data analysis and specifically about frictional strength and coefficient of friction.

Keywords: *Scientific method. Coefficient of friction. Hypothesis testing. Falsifiability.*

I. INTRODUÇÃO

A ciência, o modo de pensá-la, o modo de como ela pode ser feita, realizada ou construída, tacitamente ocorre em artigos dedicados e específicos ou em obras literárias mais completas e, geralmente específicas. De um lado, trabalhos como de Folle (2012) que mostram a aplicação do método científico, do outro, artigos sobre o pensamento científico como o de Schmidt & Santos (2007). Até então não se observou um trabalho sucinto e didático, que reúne essas linhas para ilustrar a ciência como um todo, a fim de tornar a compreensão mais próxima para estudantes (ou até mesmo um material de apoio a educadores). Logo, esse é o viés deste trabalho, que mescla ideias do pensamento científico na linha popperiana com a realização de experimentos práticos e didáticos para explicá-la envolvendo método científico.

De acordo com Schmidt & Santos (2007), numa descrição sintética popperiana, da concepção do filósofo e cientista Karl R. Popper, uma hipótese científica é aquela que apresenta falseabilidade tendo a possibilidade de ser refutada pela experimentação, caso não apresente essa propriedade, a hipótese não é científica. A Falseabilidade defendida por Popper, e aplicação de métodos estatísticos na análise de dados são fundamentos creditados neste trabalho à ciência experimental quantitativa. Nessa linha, esses fundamentos devem ser necessariamente considerados em pesquisa (no sentido de busca pela novidade) e investigação (no sentido de verificação) que envolvem experimentação e coleta de dados. No caso da situação de investigação, esse interesse aparece quando há um fenômeno pouco intuitivo. Pode-se dizer que esse é o caso da independência que a força de atrito possui em relação à área e a massa de um corpo, que geralmente é confundida por muitos alunos pelo fenômeno atrito.

Para o cálculo direto da intensidade da força de atrito (f) normalmente é apresentada nos principais livros didáticos como Halliday, Resnick & Walker (2008), Nussenzveig, (2002) e Tipler & Mosca (2009); a expressão $f_{at} = \mu N$, estabelecida como definição. Esta equação também é utilizada muitas vezes para convicção da ideia que o coeficiente de atrito independe da área do objeto e isso surge como uma alternativa de aprendizado da realidade, uma indução já que não é intuitiva. Sobre essa teoria é que este trabalho propõe ensaios didáticos. O objetivo é a determinação de coeficientes de atrito seguindo o método científico galileano, conforme apresentado por Pires (2008), e a utilização de método estatístico como

reforço de análise para confirmação da teoria. Todo este contexto é envolvido com a ideia do princípio da falseabilidade à compreensão da teoria científica.

Por um lado, sugere-se aqui para a aprendizagem que, por mais estabelecida que seja uma teoria, o avanço da tecnologia e de novas ideias de experimentação devem sempre verificar a consistência dela. Por outro, fica a proposta para ser utilizada em salas de aula ou laboratórios, seja pela reprodução dos experimentos aqui citados ou pelo uso dos resultados aqui mostrados, a fim de evidenciar aos estudantes tanto do ensino médio como também da graduação a teoria pouco intuitiva.

II. SÍNTESE A RESPEITO DO PRINCÍPIO DA FALSEABILIDADE

De acordo com Popper (2001) na obra “A lógica da pesquisa científica”, o mais importante problema da teoria do conhecimento é o problema da demarcação do que é ou não teoria científica, ou seja, o problema de estabelecer um critério que possibilite a distinção entre as ciências empíricas e os sistemas metafísicos. Seguindo o pensamento dele, o reconhecimento de um sistema que represente a realidade é feito ao submetê-lo a provas e o mesmo resistir a elas. Assim, a experimentação é o método que caracteriza a ciência empírica, de modo que se pode dizer que a ciência empírica tem inerente a ela a teoria do método empírico.

O pensamento epistemológico de Popper é reconhecido, entre outras coisas, pela sua posição contra a indução - que neste trabalho pode ser compreendido como a convicção da teoria dentro do contexto do tema força de atrito - e seu famoso princípio da falseabilidade. Entende-se como indutivas as inferências que conduzem a enunciados universais a partir de enunciados particulares. Na concepção desse filósofo, é inadmissível inferir resultados universais a partir de enunciados particulares (verificados experimentalmente), pois a conclusão à qual se chegar pode ser falsa. Logo, aproveita-se para dizer que o rigor reforçado pelo método estatístico como complemento torna-se interessante. O clássico exemplo de Popper dos cisnes brancos leva-nos a encaixá-lo na situação da equação para a força de atrito em que deve ser contextualizada para quem apresentá-la quanto sua aplicação em superfícies planas em contato (que vai além da sua veracidade como definição). Por exemplo, um caso que ela não é suficiente está em processos de dobramento mecânico de metais, onde o coeficiente de atrito vai além da razão de duas forças apenas, como apresentado no trabalho de Folle (2012).

Assim, além do exemplo acima apresentado para a motivação do presente artigo, pode-se ainda citar a relação entre a massa (ou a área) de um corpo com o coeficiente de atrito para certa superfície plana. A afirmação absoluta de que as grandezas massa e área não influenciam no coeficiente de atrito (um enunciado universal) podem gerar desconforto, se os valores observados desse coeficiente num certo procedimento experimental apresentarem diferenças quando tais grandezas forem variadas (enunciados particulares). Sabe-se que experimentos apresentam valores distintos (principalmente em laboratórios didáticos), portanto, a confirmação que tais grandezas não variam sob um aspecto metodológico, deve ser confirmada por outro, o método estatístico, por exemplo.

De modo sumário, uma hipótese ou uma teoria só pode ser classificada como científica se tiver a propriedade de ser empiricamente refutável (o contrário é metafísico). Por exemplo, a teoria defendida nos livros didáticos de Halliday, Resnick & Walker (2008), Nussenzveig,



Figura 1: (a) Da esquerda para a direita está o conjunto de seis blocos de áreas distintas (massa constante), a direita está o bloco isolado que forma o conjunto de amostras de massas variáveis (área constante) pela remoção de arruelas. (b) Dispositivo com a pista de deslizamento: imagem superior mostra a pista sem inclinação e a imagem inferior mostra a pista inclinada. Fonte: Os autores.

(2002) e Tipler & Mosca (2009) é de que o coeficiente de atrito entre uma superfície plana e um corpo independe da massa ou da área aparente do corpo; assim essa teoria pode ser classificada como científica pelo fato de haver a possibilidade de se realizar uma atividade empírica que tente demonstrar justamente o contrário ou que ela seja falsa.

III. IDEALIZAÇÃO DA PRÁTICA EXPERIMENTAL

Experimentos foram concebidos para aplicar (ou verificar) o princípio da falseabilidade à teoria para o cálculo da força de atrito de que, o coeficiente de atrito independe da massa e da área aparente de contato com ensaios de testes distintos. A ideia básica foi realizar deslizamentos puros sobre uma superfície plana (de MDF laminado) com articulação para ser inclinada e dois conjuntos de amostras de blocos (de MDF com as superfícies laminadas). Um conjunto deve apresentar blocos de mesma massa e áreas de contato aparentes diferentes. O outro conjunto possibilita massas distintas e mesma área aparente de contato. Isso foi obtido com um sistema de parafusos de rosca soberba e arruelas lisas.

Na Figura 1(a) são mostrados à esquerda o conjunto de seis blocos de áreas distintas e massas iguais (o número de arruelas garante a mesma massa). À direita, um bloco único que formará o conjunto de amostras de área constante e massa variável apenas pela adição (ou remoção) de arruelas. Para o deslizamento das amostras construiu-se um dispositivo em madeira que consiste em uma estrutura que sustenta a pista de deslizamento, Figura 1(b). Esse dispositivo permite variação do seu ângulo de inclinação conforme é rotacionado um eixo movimentado pela ação de um manípulo que está conectado a pista por cabos.

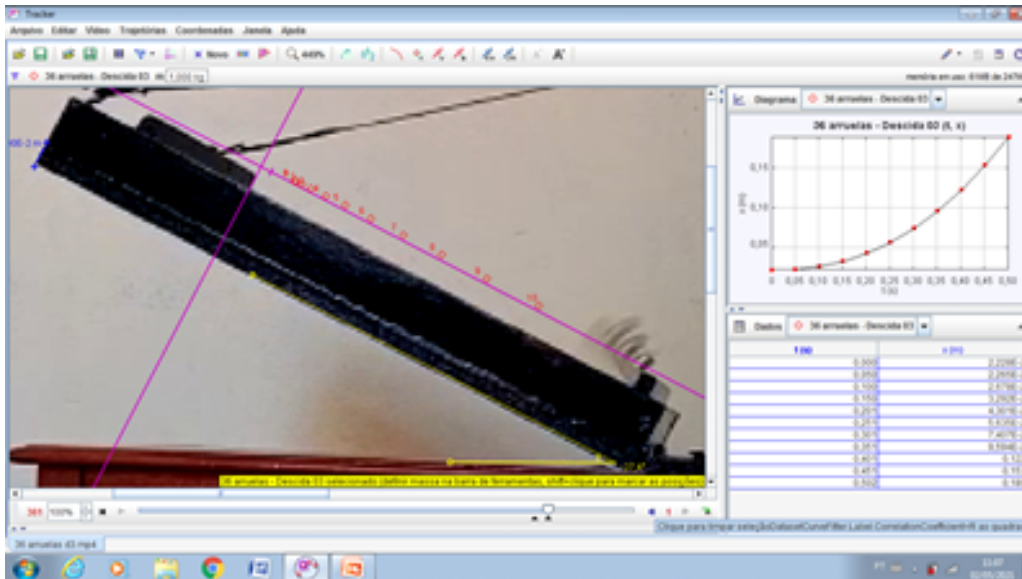


Figura 2: Captura de tela do software Tracker em uma das execuções do experimento. Fonte: Os autores.

IV. EXPERIMENTAÇÃO, TEORIA E OBTENÇÃO DE DADOS

Nessa etapa foram realizados os experimentos de medição do ângulo crítico para a determinação do coeficiente de atrito estático e , os deslizamentos com medição da aceleração para a determinação do coeficiente de atrito cinético. Essas duas situações tiveram as seguintes condições controladas: massa constante e área superficial constante. Em ambas as situações foram realizados 3 deslizamentos para cada condição. Os fenômenos foram registrados cuidadosamente utilizando uma câmera de celular. Utilizando o software livre Tracker foi possível obter o ângulo de inclinação na iminência do deslizamento (ângulo crítico) e , em seguida, com o deslizamento a aceleração. O próprio software desempenha a função de modelagem matemática gerando os ajustes de curva para as equações horárias para a posição. A Figura 2 ilustra o uso do Tracker na atividade experimental desenvolvida.

Ao todo foram realizadas 36 gravações e vídeo análises, sendo uma série de 3 deslizamentos para cada condição: massas iguais para coeficiente de atrito estático (μ_e), massas iguais para coeficiente de atrito cinético (μ_c), áreas iguais para coeficiente de atrito estático (μ_e) e áreas iguais para coeficiente de atrito cinético (μ_c).

O ângulo medido pelo Tracker (confirmado por transferidor) foi adotado como ângulo crítico (θ_c). Este ângulo foi usado para determinação do coeficiente de atrito estático (μ_e) através da tangente de θ_c , equação (1) e o coeficiente de atrito cinético (μ_c) foi calculado usando a equação (2) a seguir:

$$\mu_e = \tan^{-1} \theta_c \quad (1)$$

$$\mu_c = \tan \theta_c - \frac{a}{g \cos \theta_c} \quad (2)$$

onde a é a aceleração do bloco em $[m/s^2]$, g é a aceleração da gravidade $[m/s^2]$ calculada de acordo com Ziemath (1998), usando as coordenadas do local da realização do experimento.

Tais coordenadas foram obtidas pelo aplicativo Google Maps. As equações (1) e (2), em teoria, mostram a independência da massa e da área do corpo (bloco).

V. MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS

Na perspectiva de uma análise qualitativa quando o tema atrito e a equação para o cálculo da força de atrito são apresentados aos alunos para aventarem das possibilidades de resultados, a experiência vivenciada em sala de aula pelos autores traz como resposta dos alunos que o aumento da área aparente deve proporcionar um aumento de força de atrito (nota dos autores). Assim, é colocado que se esse fosse o caso, essa dependência deveria encontrar-se no coeficiente de atrito como função da massa ou da área aparente de contato. Contudo, os autores entendem que usar da teoria (equação) para reforçar a independência da força de atrito com a massa e/ou a área de contato aparente induz o pensamento dos alunos, não os satisfazendo em muitos casos.

Assumindo que, não se pode induzir a respeito da independência do coeficiente de atrito com a área ou com a massa em condições reais (teoria em vigor), então, se faz necessário a efetuação de métodos distintos a fim de testar a falseabilidade.

As ferramentas utilizadas foram: (i) gráficos de dispersão para verificar a relação entre coeficiente de atrito com massa e a área aparente de contato. (ii) coeficientes de correlação linear através de ajuste de curva para verificar a associação entre elas e qualificar os comportamentos; (iii) inferência estatística (teste de hipóteses) como uma contraprova aos dados de dispersão e coeficientes de correlação - no caso de uma análise direta e simples - com a finalidade de fornecer uma análise crítica com certo rigor científico sobre os resultados até então obtidos.

No caso do teste de hipóteses, a estatística para o teste foi assumida uma distribuição t-Student com $n - 2$ graus de liberdade sobre o coeficiente de correlação populacional ρ com base no valor do coeficiente de correlação das amostras r . Conforme apresentado por Morettin & Bussab (2011), a verificação de que o coeficiente de correlação será nulo ou não, é confirmada com base no cálculo da estatística descrito pela equação (3) a seguir:

$$T_{e,c} = r_{e,c} \sqrt{\frac{n-2}{1-r_{e,c}^2}} \quad (3)$$

onde os índices e e c representam as situações estática ou cinética, respectivamente. O valor crítico ($T_{\text{crítico}}$) é obtido direto na tabela t-Student para $n - 2$ graus de liberdade (nível de confiança de 95%) e os valores de base para determinação da região crítica do teste ficam $RC = (-\infty; T_{\text{crítico}}] \cup [T_{\text{crítico}}; +\infty)$. As hipóteses construídas foram com base no coeficiente de correlação populacional ρ que é a inferência da estatística para a distribuição t-Student:

1. Situação primeira: Se o valor da estatística do teste pertencer à região crítica na distribuição t-Student, rejeita-se a hipótese nula ($\rho = 0$) e aceita a alternativa ($\rho \neq 0$).
2. Situação segunda: Se o valor observado não pertencer à região crítica na distribuição t-Student, rejeita-se a hipótese ($\rho \neq 0$), e aceita e aceita a alternativa ($\rho = 0$).

VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados a seguir segundo as duas condições supracitadas. Os valores apresentados nas tabelas para os ângulos críticos e acelerações foram obtidos diretamente do instrumento de filmagem. Já os valores dos coeficientes de atrito foram calculados usando as equações (1) e (2).

I. Grupo 1 - Amostras de mesma massa e áreas distintas.

| Área aparente de contato [cm^2] | $\alpha [^\circ]$ | μ_{e1} | $\alpha_2 [^\circ]$ | μ_{e2} | $\alpha_3 [^\circ]$ | μ_{e3} | μ_{med} | σ |
|-------------------------------------|-------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|-------------|----------|
| 44,23 | 22,5 | 0,414 | 20,8 | 0,380 | 21,4 | 0,392 | 0,40 | 0,02 |
| 48,28 | 16,3 | 0,292 | 19,8 | 0,360 | 18,2 | 0,329 | 0,33 | 0,03 |
| 52,33 | 24,3 | 0,452 | 24,3 | 0,452 | 21,8 | 0,400 | 0,43 | 0,03 |
| 56,38 | 22,2 | 0,408 | 19,3 | 0,350 | 27,7 | 0,525 | 0,43 | 0,09 |
| 60,43 | 11,8 | 0,209 | 12,0 | 0,213 | 16,4 | 0,294 | 0,24 | 0,05 |
| 64,44 | 20,0 | 0,364 | 17,5 | 0,315 | 13,3 | 0,236 | 0,31 | 0,06 |

Tabela 1: Coeficientes de atrito estáticos calculados μ_e para três situações e seu valor médio com os respectivos desvios-padrões para amostras de massas iguais.

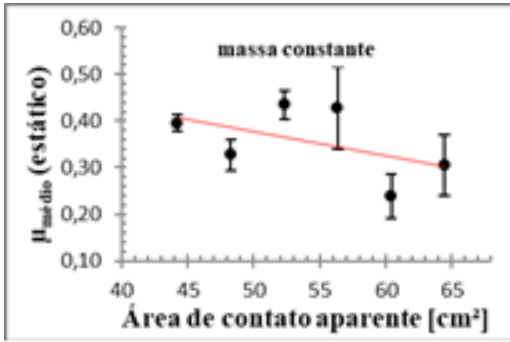
| Área aparente de contato [cm^2] | $\alpha [^\circ]$ | μ_{e1} | $\alpha_2 [^\circ]$ | μ_{e2} | $\alpha_3 [^\circ]$ | μ_{e3} | μ_{med} | σ |
|-------------------------------------|-------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|-------------|----------|
| 44,23 | 0,244 | 1,542 | 0,223 | 1,438 | 0,258 | 1,220 | 0,24 | 0,02 |
| 48,28 | 0,209 | 0,788 | 0,265 | 0,8762 | 0,277 | 0,481 | 0,25 | 0,04 |
| 52,33 | 0,241 | 1,876 | 0,354 | 0,868 | 0,325 | 0,685 | 0,31 | 0,06 |
| 56,38 | 0,237 | 1,552 | 0,199 | 1,395 | 0,237 | 2,494 | 0,22 | 0,02 |
| 60,43 | 0,181 | 0,264 | 0,181 | 0,302 | 0,236 | 0,548 | 0,20 | 0,03 |
| 64,44 | 0,185 | 1,642 | 0,152 | 1,525 | 0,191 | 0,432 | 0,18 | 0,02 |

Tabela 2: Coeficientes de atrito cinéticos calculados μ_c para três situações e seu valor médio com os respectivos desvios-padrões para amostras de massas iguais. Os ângulos foram exatamente os mesmos indicados na tabela 1 respeitando os mesmos índices que indicados nesta tabela.

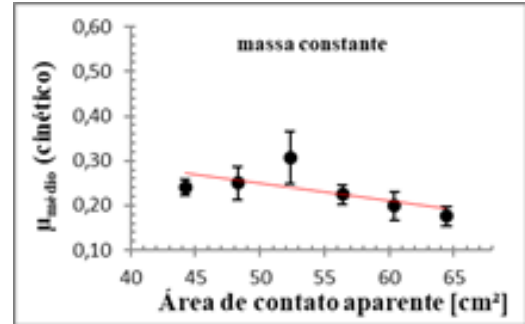
Nota-se na Figura 3 que a regressão linear pode levar a uma ideia falsa de comportamento, porque coloca em dúvida a independência da área. Nestes casos, áreas maiores dão a ideia de redução do coeficiente de atrito, que poderia ser justificado por irregularidades geométricas (superfície curva, ondulada, torcida, etc.). Entretanto, justifica-se efetuar outra análise sobre esses dados, por exemplo, por inferências estatísticas.

Foi usado o método estatístico de teste de hipóteses a fim de efetuar uma inferência sobre os resultados até então obtidos.

Assumiu-se 95% de probabilidade de aceitação para a distribuição de t-Student e calculou-se o coeficiente de correlação r_e e r_c , para as situações estática e cinética, respectivamente. Foram obtidos: $r_e = -0,5041$ e $r_c = -0,6346$.



(a) Coeficiente de atrito estático médio.



(b) Contato aparente para diversas situações com mesma massa.

Figura 3: Fonte: Os autores.

Aplicando a estatística apresentada na equação (3) para os valores de coeficiente de correlação, os valores obtidos para T_e e T_c , respectivamente, foram:

$$T_e = -0,5041 \sqrt{\frac{6 - 2}{1 - (-0,5041)^2}} = -1,167$$

para coeficiente de atrito estático e

$$T_c = -0,6346 \sqrt{\frac{6 - 2}{1 - (-0,6346)^2}} = -1,642 \quad (4)$$

para coeficiente de atrito cinético.

A região crítica do teste para grau de liberdade igual a 4 ficou então definida por $RC = (-\infty; -2,776] \cup [2,776; +\infty)$. Deste modo os valores para T_e e T_c não pertencem a região crítica (situação segunda).

Dessa forma a hipótese aceita é de $\rho = 0$, ou seja, independência entre os coeficientes de atritos, estático e cinético, em relação à área aparente.

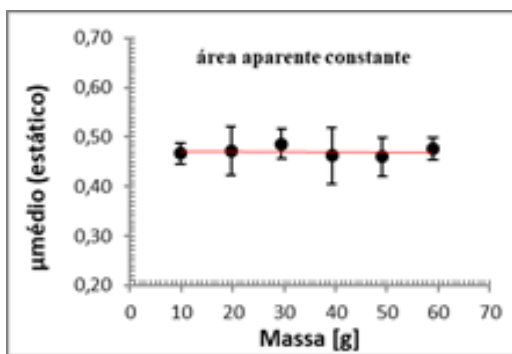
II. Grupo 2 - Amostras de mesma área e massas distintas

| Área aparente de contato [cm^2] | $\alpha [^\circ]$ | μ_{e1} | $\alpha_2 [^\circ]$ | μ_{e2} | $\alpha_3 [^\circ]$ | μ_{e3} | μ_{med} | σ |
|-------------------------------------|-------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|-------------|----------|
| 9,828 | 24,000 | 0,445 | 26,000 | 0,488 | 25,100 | 0,468 | 0,47 | 0,02 |
| 19,656 | 22,700 | 0,418 | 25,600 | 0,479 | 27,300 | 0,516 | 0,47 | 0,05 |
| 29,484 | 24,500 | 0,456 | 27,300 | 0,516 | 25,900 | 0,486 | 0,49 | 0,03 |
| 39,312 | 22,000 | 0,404 | 24,900 | 0,464 | 27,400 | 0,518 | 0,46 | 0,06 |
| 49,140 | 26,800 | 0,505 | 23,600 | 0,437 | 23,700 | 0,439 | 0,46 | 0,04 |
| 58,968 | 24,300 | 0,452 | 26,300 | 0,494 | 25,800 | 0,483 | 0,48 | 0,02 |

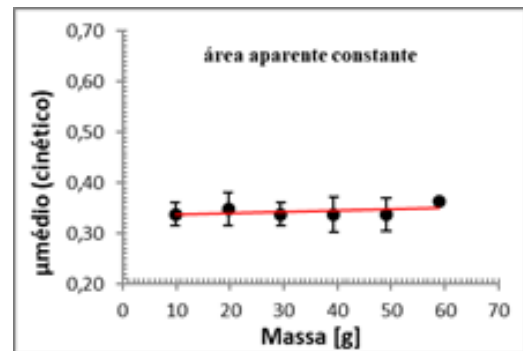
Tabela 3: Coeficientes de atrito estáticos calculados μ_e para três situações e seu valor médio com os respectivos desvios-padrões para amostras de áreas iguais.

| Área aparente de contato [cm ²] | α [°] | μ_{e1} | α_2 [°] | μ_{e2} | α_3 [°] | μ_{e3} | μ_{med} | σ |
|---|--------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|-------------|----------|
| 9,828 | 0,316 | 1,383 | 0,361 | 1,377 | 0,335 | 1,444 | 0,75 | 0,57 |
| 19,656 | 0,311 | 1,140 | 0,359 | 1,305 | 0,374 | 1,566 | 0,70 | 0,48 |
| 29,484 | 0,311 | 1,558 | 0,350 | 1,835 | 0,352 | 1,453 | 0,88 | 0,75 |
| 39,312 | 0,309 | 1,003 | 0,325 | 1,504 | 0,377 | 1,558 | 0,70 | 0,53 |
| 49,140 | 0,365 | 1,535 | 0,302 | 1,436 | 0,343 | 1,025 | 0,80 | 0,63 |
| 58,968 | 0,359 | 0,993 | 0,361 | 1,456 | 0,367 | 1,260 | 0,71 | 0,500 |

Tabela 4: Coeficientes de atrito cinéticos calculados μ_c para três situações e seu valor médio com os respectivos desvios-padrões para amostras de áreas iguais. Os ângulos foram exatamente os mesmos indicados na tabela 1 respeitando os mesmos índices que indicados nesta tabela.



(a) Coeficiente de atrito estático médio.



(b) Coeficiente de atrito cinético médio em função da área de contato aparente para diversas situações com mesma área.

Figura 4: Fonte: Os autores.

A Figura 4 corrobora com a ideia de independência da massa. A pequena inclinação que aparece para a regressão advém da contribuição do último ponto. Contudo os desvios asseguram essa independência. Aplicando, novamente a estatística apresentada na equação (3) para os valores de coeficiente de correlação r_e e r_c , os resultados neste caso foram: $r_e = -0,0456$ e $r_c = 0,04490$.

Os valores obtidos para T_e e T_c foram:

$$T_e = -0,0456 \sqrt{\frac{6 - 2}{1 - (-0,0456)^2}} = -0,091$$

para coeficiente de atrito estático e

$$T_c = 0,4490 \sqrt{\frac{6 - 2}{1 - (0,4490)^2}} = 1,005$$

para coeficiente de atrito cinético.

Consultando novamente a tabela t-Student, com 4 graus de liberdade com um nível de significância de 95%, a região crítica ficou definida como $RC = (-\infty; -2,776] \cup [2,776; +\infty)$.

Segue que, os valores para T_e e T_c também não pertencem a região crítica (situação segunda), logo a hipótese aceita é $\rho = 0$. Neste caso também há a independência entre os coeficientes de atrito, estático e cinético, em relação a massa.

III. Discussão final

Todos os resultados mostrados dizem respeito aos coeficientes de atrito, estático e cinético, enfatizando que para deslizamentos entre superfícies planas em contato eles independem da área aparente de contato e da massa do corpo. A intensidade da força de atrito calculada por $f_{at} = f_{at}(\mu_{e,c}, N) = \mu_{e,c} \cdot N$, por sua vez, reflete essa independência como função do coeficiente de atrito e, apenas, terá seu valor alterado para um mesmo corpo que deslizar em diferentes superfícies planas.

Assim, com tais experimentos didáticos é possível notar a necessidade de um rigor científico, abrindo o campo para a aprendizagem do método científico, pelo menos em parte e, também, poder conceituar e reforçar a teoria em questão. Nota-se que apenas a análise dos gráficos de dispersão poderia gerar insatisfação aos alunos quanto a compreensão da teoria. Os experimentos didáticos ainda reforçam a complexidade da experimentação com as variáveis do mundo real em cruzamento com teorias em circunstâncias ideais.

VII. CONCLUSÕES

A ideia de falseabilidade para reforçar uma teoria foi ilustrada neste trabalho através de uma linha de raciocínio ao método científico. Para isso, ensaios didáticos experimentais foram necessários e permitiram uma investigação (confirmação ou falseabilidade) da teoria. Para tanto, uma importante análise crítica sobre os resultados em gráficos de dispersão foi efetuada, mostrando que somente esse tipo de resultado não é suficiente para conclusões, como normalmente nota-se em trabalhos apresentados, em simpósios, feiras, congressos etc. Foi importante a aplicação do recurso do teste estatístico de hipóteses para fechar a conclusão.

Os experimentos realizados, embora didáticos, serviram como base para mostrar o ideal do rigor científico e foram importantes para eliminar a ideia intuitiva e evitar a indução sobre o comportamento da força de atrito como dependente da área de aparente de contato e da massa. Também por mostrar que, se uma teoria pareça falseável num primeiro momento, como no caso de considerar apenas os resultados mostrados nos gráficos de dispersão da figura 3, novos testes ou novos experimentos devem ser realizados para sua verificação, como aconteceu ao realizar o teste de hipóteses.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Paula Souza (CPS) pela bolsa de Iniciação Científica. Aos colaboradores do experimento: José Roberto de Lima Araújo, José Almir de Araújo, José Cleiton de Lima Araújo, Guilherme Batista de Lima Araújo, Gabriel Batista de Lima Araújo, Maria Renata Batista e Ivone Rosa de Lima da Silva.

REFERÊNCIAS

- FOLLE, L. F. *Estudo do coeficiente de Atrito para Processos de Estampagem*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 25-32. 2012.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física. Volume 1*. 8 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2008.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. *Estatística Básica*. 6 ed. – São Paulo: Saraiva, 2010.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica – Volume 1 – Mecânica*. 4 ed.- São Paulo, SP: Edgard Blucher, 2002.
- PIRES, A. S. T. *Evolução das ideias da Física*. São Paulo, SP, Livraria da Física: 2008.
- POPPER, K. R. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo, Cultrix, 2001.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Física para Cientistas e Engenheiros*. Volume 1. 6 ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009.
- SCHMIDT, P.; SANTOS, J. L. O. *O pensamento epistemológico de Karl Popper*. ConTexto, Porto Alegre, v.7, n.11, p.6, 1º semestre de 2007.
- ZIEMATH, E. C, et al. *Determinação experimental da aceleração gravitacional no bairro Santana* (IGCE, UNESP, Rio Claro, 1998), p. 1-5.
-