

Universidade de Brasília - UnB Gama

Relatório de Física 1 Experimental

Experimento 4 - Leis de Newton

Por

Felipe Amorim de Araújo - Matrícula : 221022275

Fernando Gabriel dos Santos Carrijo - Matrícula: 221008033

João Vitor Santos de Oliveira - Matrícula : 221022337

Gustavo Emannel Pereira Sousa - Matrícula : 221031176

Brasília-DF, 17 de janeiro de 2023

1 Objetivos

O experimento realizado em laboratório teve como objetivo demonstrar e analisar o comportamento do deslocamento de um carrinho sobre um trilho de ar sob ação de forças constantes, respeitando os conceitos das leis de Newton. O experimento foi dividido em duas partes, uma com o carrinho sofrendo ação de tração de um peso preso ao mesmo e outra com o carrinho por si só em um plano inclinado. Em ambos os procedimentos, o atrito pode ser ignorado e foram utilizadas ferramentas técnicas de operações com erros e médias, além da elaboração e análise de gráficos e cálculos de regressão linear e quadrática.

2 Introdução Teórica

No atual experimento, analisaremos o deslocamento de um carrinho sobre ação de forças constantes, esse fenômeno físico é explicado por uma série de leis, mais conhecidas como leis de Newton do movimento. As leis de Newton mostram a relação entre força e as variações do movimento e são os fundamentos da mecânica clássica, foram elaboradas por Isaac Newton no século XVII. A chamada mecânica newtoniana possui três leis básicas que explicam os comportamentos estáticos e dinâmicos dos corpos físicos.

Podemos definir como força, uma grandeza vetorial gerada pela interação entre um corpo com o seu ambiente ou com mais corpos, um corpo pode exercer uma força, ou ter uma força exercida sobre ele mesmo. Os diferentes tipos de forças podem ser classificadas como forças de contato, forças de atrito, forças de tensão e forças de longo alcance. A origem dessas forças está nas forças fundamentais da natureza:

- Força gravitacional;
- Força eletromagnética;
- Força nuclear forte;
- Força nuclear fraca.

O vetor força pode ser representado como \vec{F} e tem sentido, direção e módulo, a unidade da força é o $\frac{kg \cdot m}{s^2}$ representado no SI de força mais simplificada pelo *newton* ou *N*.

2.1 Primeira Lei de Newton - Princípio da Inércia

A primeira lei de Newton define que a tendência de um corpo em repouso ou em movimento retilíneo uniforme é manter-se em seu estado inicial, a não ser pela ação de uma força externa. Isso quer dizer que, um corpo só modificará seu estado de movimento se houver uma força que obrigue o mesmo a modificá-lo. Podemos dizer assim que, se a resultante das forças agindo sobre um corpo é nula, o corpo permanecerá em equilíbrio.

A massa de um corpo é o que representa a dificuldade imposta pelo corpo ao movimento ou ao repouso. Quanto maior a massa, maior será a dificuldade para iniciar ou cessar um movimento. Sendo assim, podemos dizer que a massa é o número que representa a inércia de um corpo ou o "coeficiente de inércia".

Para calcular a força resultante sobre um corpo podemos utilizar o Diagrama do Corpo Livre, que nada mais é que um diagrama onde colocamos as forças agindo sobre o corpo, suas direções e sentidos corretos. Podemos calcular a força resultante pela soma de todas as forças agindo sobre o corpo, no caso de um sistema em equilíbrio, a resultante das forças é nula, isso pode ser denotado de forma vetorial da seguinte forma:

$$\vec{F}_r = \Sigma \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = 0 \quad (1)$$

2.2 Segunda Lei de Newton - Princípio Fundamental da Dinâmica

A segunda lei de Newton, conhecida também como princípio fundamental da dinâmica, é a lei que faz relação com a força resultante que atua sobre o corpo e a aceleração adquirida pelo mesmo.

Uma força resultante não nula gera uma aceleração constante na direção e sentido que a força está sendo aplicada.

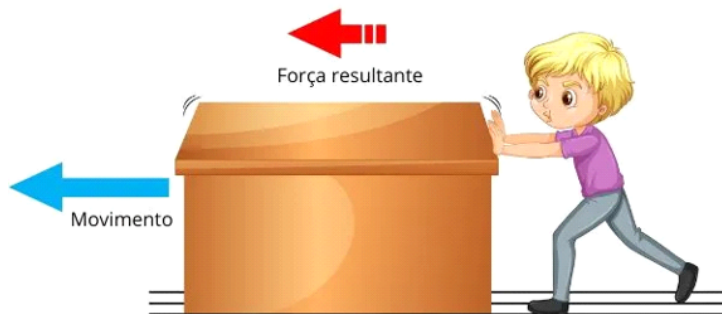


Figura 1: Força resultante não nula aplicada sobre um objeto

A razão entre a força resultante aplicada sobre um corpo, e o módulo de sua aceleração é uma constante denotada como massa inercial do corpo, ou simplesmente massa com unidade no SI de quilogramas (kg). A massa indica o quanto o corpo resiste uma mudança no seu estado de movimento.

$$m = \frac{|\Sigma \vec{F}|}{|a|} \quad (2)$$

Podemos reescrever essa equação e concluir igualmente que, o vetor força resultante é igual ao produto da massa do corpo pelo vetor aceleração do corpo.

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a} \quad (3)$$

A equação (4) da segunda lei de Newton descreve diversos tipos de fenômenos da dinâmica na natureza, pois indica a relação básica entre força e movimento, além disso ela indica que ao ser aplicada uma força resultante não nula sobre um corpo, o movimento que este sofre é acelerado, a natureza desse movimento pode ser descrita pelas fórmulas do MRUV (Movimento Retilíneo Uniformemente Variado).

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2 \quad (4)$$

2.3 Terceira Lei de Newton - Ação e reação

A Terceira Lei de Newton, conhecida como lei da ação e reação, mostra o resultado da interação direta entre dois corpos, toda força exercida sobre um corpo é resultado da interação com outro corpo, existe uma força de reação que este outro corpo exerce de forma que a mesma acontece em par com a força de ação e é igual e contrária a mesma. Basicamente, a Terceira Lei de Newton denota que toda força de ação exercida por um corpo em outro, gera um força de reação de mesmo módulo e direção mas em sentido oposto à força de ação.

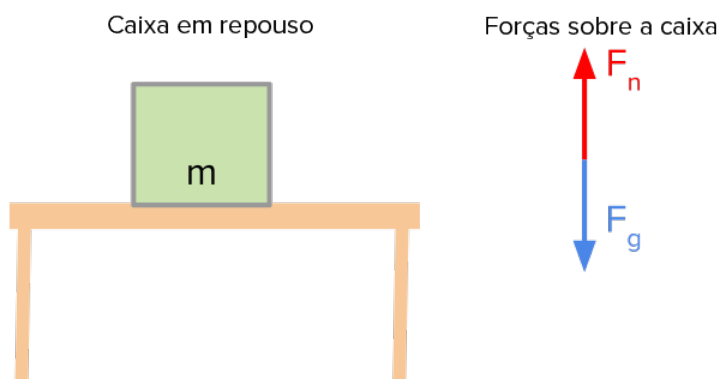


Figura 2: Representação da terceira lei de Newton

Neste exemplo, a caixa em repouso sobre a mesa sofre ação da força da gravidade que a acelera para baixo, denotada como força peso \vec{P} , a mesa reage com uma força de mesmo módulo em sentido contrário denotada por força normal \vec{N} .

2.4 Aplicações das Leis de Newton

Através dos conceitos teóricos introduzidos pelas leis de Newton, é possível analisar diversos sistemas e fenômenos físicos envolvendo movimentos e forças na natureza.

No experimento realizado, foi analisado a natureza do movimento do carrinho em dois sistemas diferentes, utilizando as leis de Newton é possível analisar as diferentes forças envolvidas em cada sistema e quais são as suas relações.

2.4.1 Massa tracionada por outra massa suspensa



Figura 3: Massa tracionada por uma outra massa suspensa presa por uma corda

No sistema acima, temos um bloco de massa M que está preso por uma corda, que passa por uma polia, à um outro bloco suspenso de massa m . Se analisarmos as forças agindo sobre cada um dos blocos obtemos o diagrama à seguir:

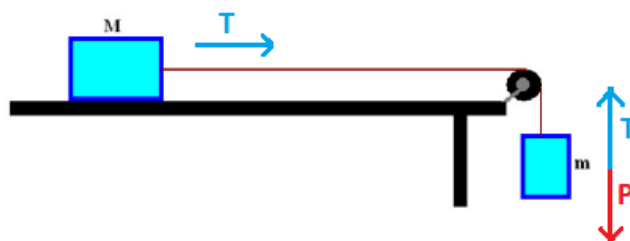


Figura 4: Diagrama de forças do sistema com a massa suspensa

A massa da corda pode ser desprezada do sistema, assim as tensões que a corda exerce sobre ambos os blocos será a mesma. Fazendo a segunda lei de Newton (4) para bloco de massa m obtemos:

$$\vec{T} - \vec{P} = -ma$$

\vec{T} é a tração da corda e \vec{P} é força peso do bloco m , dada por:

$$\vec{P} = mg$$

Onde g é aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Para o bloco M , a segunda lei de Newton (4) é:

$$\vec{T} = Ma$$

Se substituirmos a tração na equação do bloco m obtemos:

$$Ma - mg = -ma$$

Podemos manipular essa equação afim de achar a aceleração do sistema em relação as massas dos blocos. Isolando a aceleração é obtido:

$$a = \left(\frac{m}{m + M} \right) g \quad (5)$$

2.4.2 Plano inclinado

O plano inclinado é a representação de um plano que possui certo ângulo em relação à superfície horizontal, neste sistema temos um bloco de massa m deslizando a rampa com ângulo θ em relação ao eixo horizontal.



Figura 5: Plano inclinado

O diagrama a seguir, representa as forças atuantes nesse sistema:

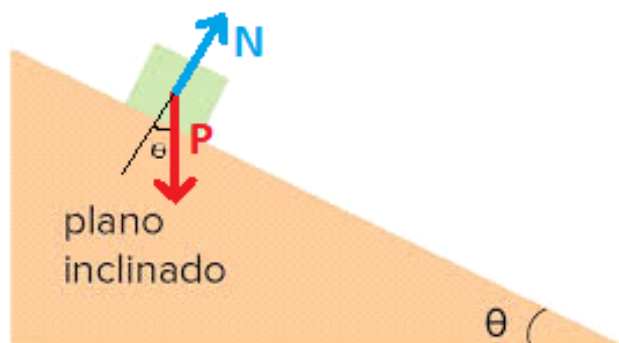


Figura 6: Forças no plano inclinado

Para criarmos as equações da segunda lei de Newton para o bloco na rampa, precisamos considerar as componentes da sua força peso em relação ao ângulo θ , assim:

$$\begin{aligned} \vec{N} - \vec{P} \cos \theta &= 0 \\ \vec{P} \sin \theta &= ma \end{aligned}$$

Estamos interessados na segunda equação, que governa o deslize do bloco pela rampa, no eixo vertical em relação a rampa o bloco permanece em repouso. Podemos substituir \vec{P} por mg , obtendo:

$$mg \sin \theta = ma$$

Dividindo as massas nos dois lados da equação, por fim obtemos a aceleração em termos apenas da aceleração da gravidade e o ângulo da rampa em relação ao eixo horizontal:

$$a = g \sin \theta \quad (6)$$

3 Parte Experimental e Discussão

No experimento realizado, foi analisado o movimento do carrinho sobre um trilho de ar com atrito desprezível com forças constantes atuando sobre o mesmo. Foram montados dois sistemas com configurações diferentes e os dados de intervalos de tempo e deslocamento do carrinho foram obtidos e analisados de diferentes formas afim de obter as informações de aceleração e forças envolvidas no movimento em cada respectivo sistema. Foram montadas tabelas e utilizadas ferramentas de análise gráfica para montagem de gráficos, regressão linear e quadrática, além utilizarmos os conceitos teóricos sobre as leis de Newton para analisar os movimentos e as forças.

Todos gráficos dessa seção podem também ser encontrados no final do documento como anexos.

3.1 Material utilizado

O conjunto de materiais utilizados no experimento foram:

- 01 trilho 120 cm;
- 01 cronômetro digital multifunções com fonte DC 12 V;
- 02 sensores fotoelétricos com suporte fixador (S1 e S2);
- 01 eletroímã com bornes e haste;
- 01 fixador de eletroímã com manípulo;
- 01 chave liga-desliga;
- 01 Y de final de curso com roldana raiada;
- 01 suporte para massas aferidas 19 g (aproximada);
- 01 massa aferida 10 g com furo central de 2,5 mm de diâmetro;
- 02 massas aferidas 20 g com furo central de 2,5 mm diâmetro;

- 01 cabo de ligação conjugado;
- 01 unidade de fluxo de ar;
- 01 cabo de força tripolar 1,5 m;
- 01 mangueira aspirador 1,5 polegadas;
- 01 pino para carrinho para fixá-lo no eletroímã;
- 01 carrinho para trilho cor preta;
- 01 pino para carrinho para interrupção de sensor;
- 03 porcas borboletas;
- 07 arruelas lisas;
- 04 manípulos de latão 13 mm;
- 01 pino para carrinho com gancho;

O conjunto de materiais acima são utilizados como um kit de trilho de ar representado no diagrama a seguir:

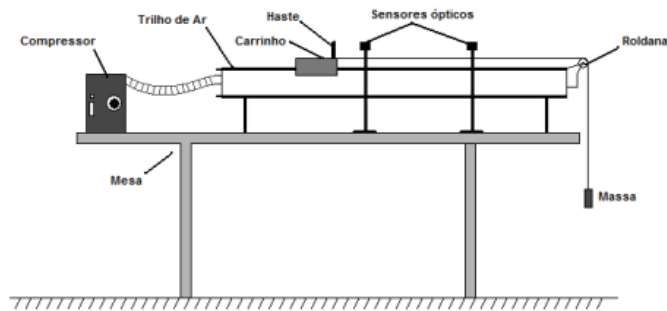


Figura 7: Kit de trilho ar

- 01 barbante para prender o peso no carrinho;
- 01 massa de 55 g;
- régua;
- 01 calço para suporte do trilho.

3.2 Carrinho tracionado por um peso

No primeiro sistema, o carrinho foi posto no trilho preso por um barbante a um peso. De forma similar ao sistema a seguir:



Figura 8: Representação do carrinho e peso suspenso

Nos dois pinos laterais do carrinho, estavam presentes dois pesos de 20 g e um de 10 g em cada um. Uma balança com erro instrumental de 0,5 g foi utilizada pra medir o peso total do carrinho (M) e o peso (m) preso ao mesmo.

$$M = (313,0 \pm 0,5)g$$

$$m = (55,0 \pm 0,5)g$$

Quando liberado o carrinho sobre o trilho, ligando o cronômetro, o peso preso ao carrinho sofria ação da força da gravidade e acelerava, tracionando assim o carrinho e fazendo o mesmo entrar em movimento acelerado. Um sensor posicionado a uma distância Δx , inicialmente de 30 cm detectava a passagem da haste central do carrinho, parando o cronômetro, o experimento era repetido 5 vezes e posteriormente a distância do sensor era aumentada em 10 cm, esse mesmo procedimento foi feito até uma distância $\Delta x = 80$ cm. Os dados obtidos no experimento, além das médias, erros aleatórios e erros absolutos (considerando um erro instrumental de 0,001 s do cronômetro), estão na tabela 1 a seguir:

Intervalos de tempo (s)	Δx_1 30 cm	Δx_2 40 cm	Δx_3 50 cm	Δx_4 60 cm	Δx_5 70 cm	Δx_6 80 cm
Δt_1	0,646 s	0,748 s	0,834 s	0,917 s	0,994 s	1,060 s
Δt_2	0,651 s	0,749 s	0,837 s	0,917 s	0,990 s	1,060 s
Δt_3	0,650 s	0,747 s	0,836 s	0,918 s	0,992 s	1,066 s
Δt_4	0,652 s	0,754 s	0,842 s	0,918 s	0,992 s	1,060 s
Δt_5	0,651 s	0,741 s	0,842 s	0,910 s	0,993 s	1,063 s
Δt	0,650 s	0,748 s	0,838 s	0,916 s	0,992 s	1,062 s
Erro aleatório	0,001 s	0,002 s	0,002 s	0,002 s	0,001 s	0,001 s
Erro absoluto	0,002 s	0,003 s	0,003 s	0,003 s	0,002 s	0,002 s

Tabela 1: Intervalos de tempo, médias, erros aleatórios e absolutos

Com os dados da tabela 1, foi feito um gráfico posição \times tempo de regressão quadrática em um programa computacional para obtermos a aceleração experimental \bar{a}_{exp} do movimento do carrinho.

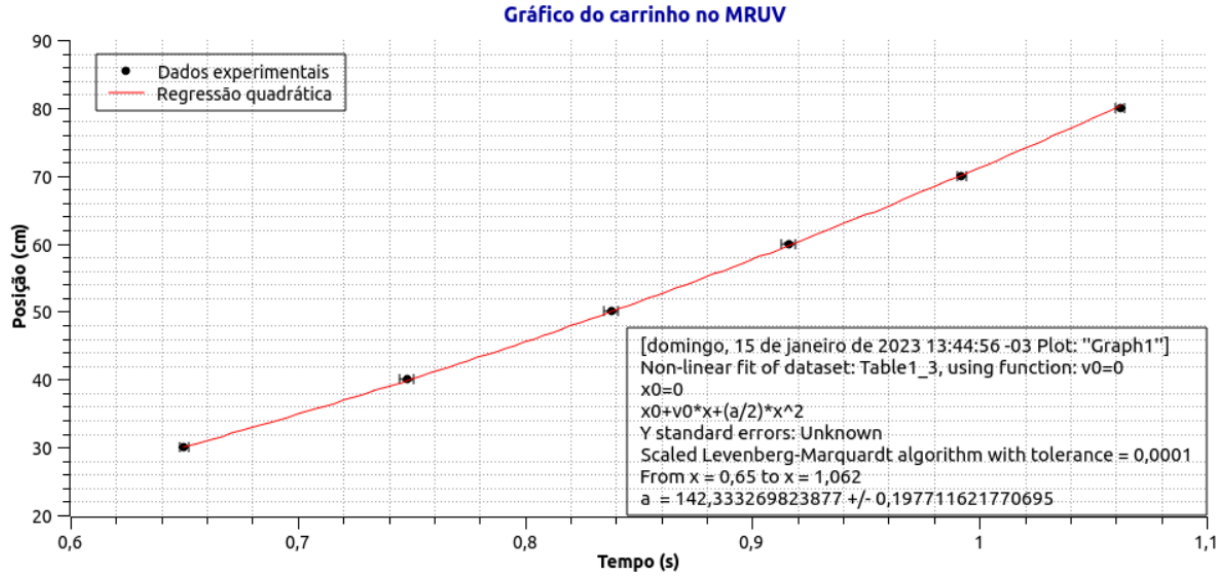


Figura 9: Gráfico $x \times t$ e a regressão quadrática

A partir da regressão quadrática, o valor da aceleração experimental obtida foi:

$$a_{exp} = (142,33 \pm 0,20) \text{ m/s}^2$$

Analisando o sistema na forma como ele está representado pela figura 8, podemos aplicar as leis de Newton e identificar as forças agindo sobre o mesmo e a partir de suas massas M e m , a sua aceleração teórica, dada pela equação (5). A aceleração obtida foi

$$a = 146,47 \text{ m/s}^2$$

É possível comparar os dois resultados de acelerações obtidos utilizando a fórmula do erro relativo, que permite medir a discrepância entre o resultado da aceleração esperado e a que foi obtida experimentalmente.

$$E = \frac{|a - \bar{a}_{exp}|}{a} \quad (7)$$

Por essa equação obtemos o resultado:

$$E = 0,0282$$

ou

$$E = 2,82\%$$

Com a aceleração obtida experimentalmente, foi calculada a força de tração em Newtons exercida pelo barbante sobre o carrinho utilizando a equação da segunda lei de Newton (4), para este calculo a massa está em kg e a aceleração em m/s^2

$$\vec{T}_{barbante} = M \cdot a_{exp}$$

$$\vec{T}_{barbante} = (0,445 \pm 0,001) \text{ N}$$

3.3 Carrinho no plano inclinado

Nesta segunda parte do experimento, uma das extremidades do trilho foi suspensa com um calço, gerando uma inclinação assim como representado na figura a seguir:

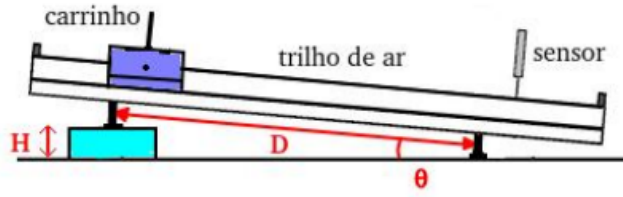


Figura 10: Representação do trilho inclinado com o carrinho

O carrinho foi colocado no trilho sem nenhum peso extra, deixado a deslizar no trilho pelo seu próprio peso sem auxílio de peso suspenso. Foram medidas a altura H e o comprimento D para determinar a inclinação de ângulo θ gerada no trilho.

$$H = 7,50 \text{ cm}$$

$$D = 172,6 \text{ cm}$$

Com o triângulo formado, podemos medir o ângulo θ a partir do seno do mesmo.

$$\sin \theta = \frac{H}{D} \quad (8)$$

Como $\theta < 1 \text{ rad}$, podemos aproximar $\sin \theta \approx \theta$, obtendo assim:

$$\theta = \frac{H}{D} = 0,0435 \text{ rad}$$

$$\theta = 2,49^\circ$$

Em um sistema inclinado podemos calcular a aceleração usando a equação (6), assim podemos obter a aceleração esperada do carrinho nesse sistema com o trilho inclinado

$$a = g \sin \theta$$

$$a = 42,58 \text{ m/s}^2$$

Assim como na primeira parte do experimento, o sensor foi posicionado a uma distância Δx , inicialmente de 30 cm da haste central do carrinho, assim que o cronômetro era iniciado o carrinho era liberado e media-se o intervalo de tempo até a haste central passar pelo sensor, quando o cronômetro era parado. Isso era repetido 5 vezes e

posteriormente a distância do sensor era aumentada em 10 cm. Esses procedimentos foram repetidos até um $\Delta x = 80$ cm. Os intervalos de tempo obtidos estão na tabela a seguir, além de suas médias, erros aleatórios e absolutos.

Intervalos de tempo (s)	Δx_1 30 cm	Δx_2 40 cm	Δx_3 50 cm	Δx_4 60 cm	Δx_5 70 cm	Δx_6 80 cm
Δt_1	1,210 s	1,407 s	1,570 s	1,719 s	1,847 s	1,981 s
Δt_2	1,220 s	1,397 s	1,569 s	1,711 s	1,837 s	1,978 s
Δt_3	1,213 s	1,407 s	1,559 s	1,710 s	1,843 s	1,975 s
Δt_4	1,212 s	1,395 s	1,569 s	1,713 s	1,843 s	1,971 s
Δt_5	1,211 s	1,412 s	1,578 s	1,710 s	1,845 s	1,971 s
Δt	1,213 s	1,404 s	1,569 s	1,713 s	1,843 s	1,975 s
Erro aleatório	0,002 s	0,003 s	0,003 s	0,002 s	0,002 s	0,002 s
Erro absoluto	0,003 s	0,004 s	0,004 s	0,003 s	0,003 s	0,003 s

Tabela 2: Intervalos de tempo, médias, erros aleatórios e absolutos no plano inclinado

Utilizando os dados da tabela acima, foram calculadas as velocidades instantâneas para cada um dos deslocamentos dada pela equação a seguir:

$$v_k = \frac{2\Delta x_k}{\Delta t_k} \quad (9)$$

Os resultados das velocidades e seus respectivos intervalos de tempo e erros estão na tabela a seguir:

Instantes de tempo (s)	Velocidade instantânea (cm/s)
$(1,213 \pm 0,003)$ s	$(49,46 \pm 0,20)$ cm/s
$(1,404 \pm 0,004)$ s	$(57,00 \pm 0,24)$ cm/s
$(1,569 \pm 0,003)$ s	$(63,73 \pm 0,23)$ cm/s
$(1,713 \pm 0,003)$ s	$(70,07 \pm 0,17)$ cm/s
$(1,843 \pm 0,003)$ s	$(75,96 \pm 0,16)$ cm/s
$(1,975 \pm 0,003)$ s	$(81,00 \pm 0,17)$ cm/s

Tabela 3: Velocidades instantâneas para cada intervalo de tempo e seus erros experimentais

Com os dados da tabela, foi feito um gráfico $v \times t$ e depois foi feita a regressão linear para obter-se a aceleração do movimento do carrinho no plano inclinado.

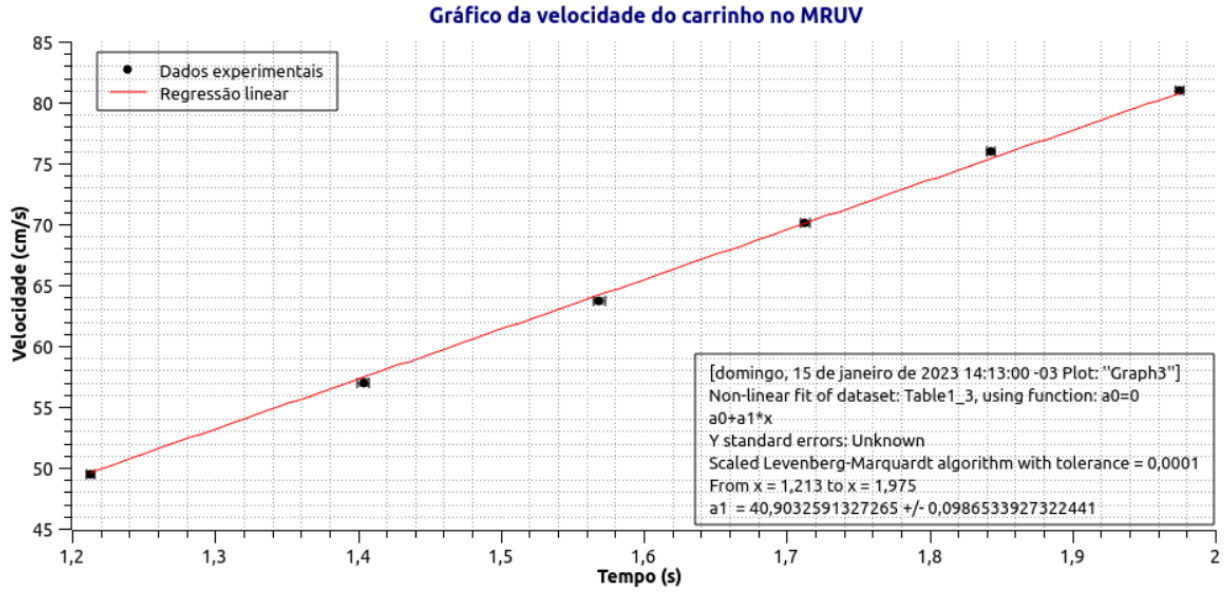


Figura 11: Gráfico da velocidade \times tempo e a regressão linear

A aceleração obtida foi

$$a_{exp} = (40,90 \pm 0,10) \text{ cm/s}^2$$

Também foi feita a regressão linear dos dados das velocidades em uma calculadora científica, a aceleração obtida foi

$$a_{calc} = 41,86 \text{ cm/s}^2$$

Assim como anteriormente, compararemos o valor experimental de aceleração obtido com o valor teórico esperado pela equação do erro relativo (7)

$$E = \frac{|a - \bar{a}_{exp}|}{a}$$

$$E = 0,0395$$

ou

$$E = 3,95\%$$

Com os dados experimentais também é possível calcular a componente da força peso que fazia o carrinho deslizar o trilho de forma acelerada, usando a segunda lei de Newton (4) para isso precisamos também da massa do carrinho, que foi medida em uma balança.

$$\vec{P}_{x_0} = M \cdot a_{exp}$$

$$M = (213,0 \pm 0,5) \text{ g}$$

portanto

$$\vec{P}_{x_0} = (0,087 \pm 0,001) \text{ N}$$

onde o \vec{P}_{x_0} é o componente da força peso do carrinho paralelo ao trilho inclinado.

4 Conclusão

O experimento foi realizado em duas partes com configurações diferentes, com os dados obtidos é possível analisar cada uma separadamente. Foram obtidos a partir dos resultados de intervalos de tempo de cada sistema suas respectivas acelerações utilizando técnicas de regressão linear e quadrática, e além disso, com os dados iniciais foi também possível obter de forma teórica, pelas leis de Newton, as acelerações esperadas de cada sistema para assim compará-las com as acelerações experimentais obtidas.

No sistema com o carrinho sendo tracionado por um peso suspenso, a aceleração obtida por meio de regressão quadrática dos dados foi:

$$a_{exp} = (142,33 \pm 0,20) \text{ m/s}^2$$

Pela 2ª lei de Newton, foi possível calcular a aceleração esperada desse sistema de forma teórica, a aceleração obtida foi:

$$a = 146,47 \text{ m/s}^2$$

Foi feito o calculo do erro relativo em relação a essas duas medidas, obtendo-se uma divergência de:

$$E = 2,82\%$$

Com esse valor de divergência, podemos concluir que o resultado de aceleração encontrado experimentalmente se aproximou com o resultado teórico do sistema, porém, a existência da divergência entre os dois valores tem que ser levada em conta, a mesma pode ser explicada por condições experimentais ou por erro humano na realização do experimento.

A força de tração exercida pelo barbante foi a responsável por acelerar o carrinho, o resultado desse força encontrada foi de:

$$\vec{T}_{barbante} = (0,445 \pm 0,001) \text{ N}$$

O segundo sistema com o trilho inclinado, foram feitos os mesmos procedimentos do primeiro sistema. A aceleração foi obtida por regressão linear após cálculo das velocidades instantâneas

$$a_{exp} = (40,90 \pm 0,10) \text{ cm/s}^2$$

Também por meio das leis de Newton, foi encontrada a aceleração teórica no plano inclinado:

$$a = 42,58 \text{ m/s}^2$$

Comparando essas duas acelerações por meio do erro relativo obtemos:

$$E = 3,95\%$$

Indicando que o resultado de aceleração experimental encontrado foi similar com o que era esperado teoricamente, porém também indicando uma certa divergência entre os dados, que pode ser explicada pelas condições experimentais ou erro humano como já explicado anteriormente.

A força responsável por deslizar o carrinho pelo trilho, sendo componente da força peso do carrinho foi calculada em

$$\vec{P}_{x_0} = (0,087 \pm 0,001) \text{ N}$$

Em conclusão, conseguimos fazer a análise do movimento do carrinho em dois sistemas diferentes envolvendo forças constantes agindo sobre o carrinho. Por meio da obtenção de dados experimentais do movimento do carrinho sobre o trilho, conseguimos resultados que se aproximaram dos resultados teóricos esperados pela aplicação das leis de Newton, portanto podemos concluir que os experimentos obedeceram as mesmas.

Referências

- [1] H.D. Young & R.A. Freedman, *Física I, Sears & Zemansky* (Pearson, Addison Wesley, 2016), 14^a Ed.
- [2] H. Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica, 1: Mecânica* (São Paulo: Blucher, 2013), 5^a Ed.
- [3] <https://pt.khanacademy.org/science/physics/forces-newtons-laws/normal-contact-force/a/what-is-normal-force>
- [4] <https://www.preparaenem.com/fisica/leis-newton.htm>
- [5] <https://www.preparaenem.com/fisica/plano-inclinado.htm>
- [6] https://aprender3.unb.br/pluginfile.php/2357798/mod_resource/content/2/Experimento_IV_Leis_de_Newton_Wytler.pdf

Gráfico do carrinho no MRUV

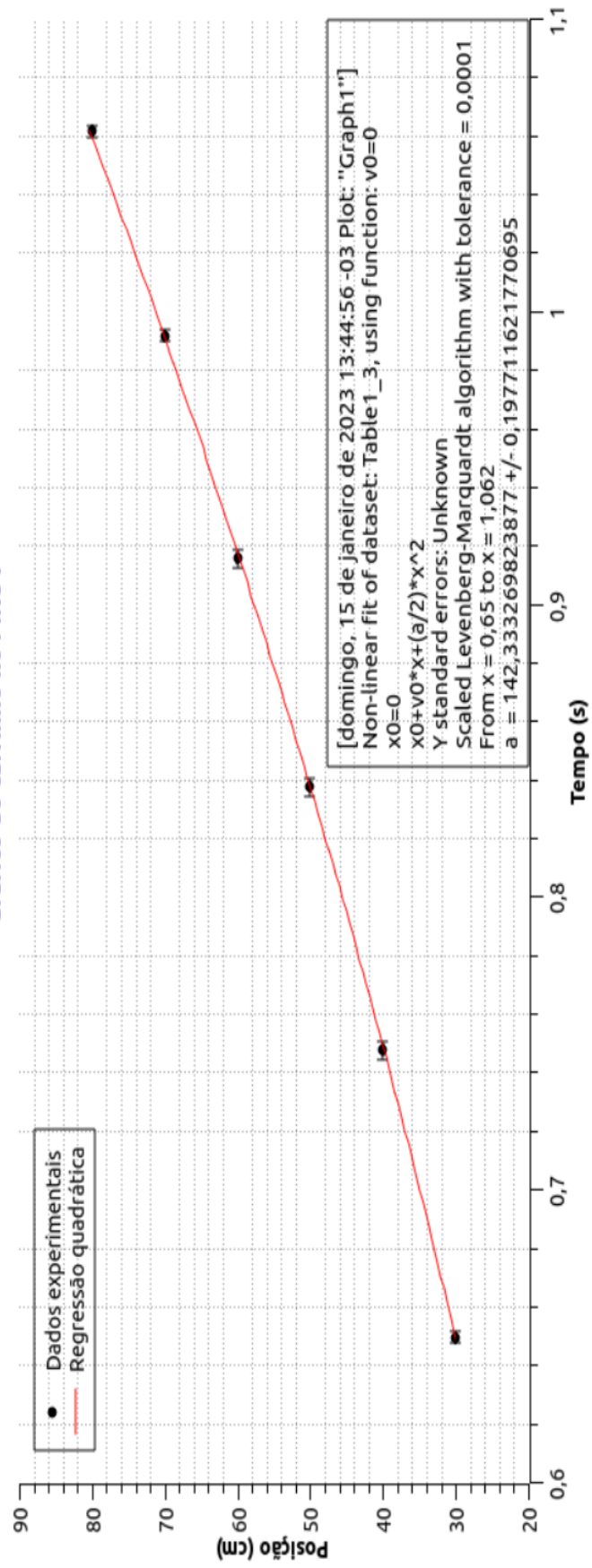


Gráfico da velocidade do carrinho no MRUV

