

Relatório Técnico Experimento com Atrito

Ciência da Computação (Semestre e Turma)

João Lucas Lima de Melo; Luca Argolo

Entregue a Eliel Gomes da Silva Neto, professor da disciplina Elementos do Eletromagnetismo e Circuitos Elétricos

Resumo: Análise do comportamento do atrito e da relação de sua força com massa, velocidade e tempo tendo como referência dados obtidos em simulador.

Palavras-chave: Atrito; Massa; Velocidade; Tempo; Simulação; Comportamento; Análise

I. INTRODUÇÃO

Em sala de aula, foi observado e discutido como a força, massa, velocidade, tempo e atrito se relacionam. Este relatório possui como objetivo apresentar uma análise detalhada dessas relações, tendo como referência dados obtidos pelo simulador PHET.

Os dados coletados agrupam-se em três cenários: Medidas sem atrito; Adição do atrito (caso dinâmico); Atrito estático. Os dados são estudados e manipulados com a finalidade de elaborar tabelas e gráficos para otimizar a análise.

Com os dados devidamente organizados, discutimos observações imediatas dos experimentos relacionando diferentes grandezas físicas, analisamos a interferência do atrito no sistema, comparamos os valores coletados com os calculados internamente pelo simulador e estudamos outros componentes (como o coeficiente de atrito do simulador) e comportamentos (como o do trabalho e energia cinética).

II. EXPERIMENTO

Queríamos fazer a análise de três cenários:

Um corpo, em um sistema sem atrito e em estado inercial, sofre ação de uma força de 500N. É analisada a velocidade e aceleração em intervalos regulares de tempo. Após a aplicação da força, analisar novamente a velocidade e aceleração em intervalos regulares de tempo.

Um corpo, em um sistema com atrito e em estado inercial, sofre ação de uma força de 500N. É analisada a velocidade e aceleração em intervalos regulares de tempo. Após a remoção da força, analisar novamente a velocidade e

aceleração em intervalos regulares de tempo. Para cada corpo, são testados dois valores diferentes de atrito.

Um corpo, em um sistema com atrito e em estado inercial, sofre ação de uma força de 500N. É analisada como a variação do atrito se relaciona com o corpo e a força necessária para mover o objeto. Para cada corpo, são testados dois valores diferentes de atrito.

Foi utilizado o simulador PHET para a obtenção dos dados. Para o cenário de:

Medidas sem atrito (referência)

Utilizamos o simulador de aceleração

Adição de atrito (caso dinâmico)

Utilizamos o simulador de aceleração

Atrito estático

Utilizamos o simulador de atrito

Em todos os experimentos, fizemos análise para corpos com 300KG, 240KG e 180KG de massa. Sempre aplicamos uma força de 500N sobre os corpos.

Coletamos os dados a cada intervalo de 2 segundos para os casos sem atrito e para atrito dinâmico.

III. RESULTADOS

Caso sem atrito:

Aplicamos, em todos os casos, uma força de 500N nos objetos (sem influência do atrito). Os dados de velocidade e aceleração foram coletados em intervalos constantes de 2 segundos. De imediato, podemos observar a relação entre:

Força, massa e aceleração

Velocidade, tempo e aceleração

Força, massa e aceleração:

Em todos os casos, para três corpos com massas diferentes, a força aplicada (500N) se manteve constante. No entanto, de acordo com a variação das massas, obtivemos diferentes valores de aceleração dos corpos.

| Massa do objeto | Aceleração constante |
|-----------------|-----------------------|
| 300kg | 1,67 m/s ² |
| 240kg | 2,08 m/s ² |
| 180kg | 2,78 m/s ² |

Percebe-se que a aceleração é inversamente proporcional à massa do objeto, uma vez mantendo-se constante a aplicação da força.

Velocidade, tempo e aceleração:

Para os diferentes corpos, a aplicação de uma aceleração constante resultou em uma relação linear entre velocidade e tempo.

Apesar da linearidade, os gráficos de velocidade em relação ao tempo não são os mesmos.

| Aceleração constante do objeto | Intervalo de tempo | Velocidade instantânea |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|
| 1,67 m/s ² | 10,05 s | 17,06 m/s |
| 2,08 m/s ² | 10,00 s | 21,08 m/s |
| 2,78 m/s ² | 9,92 s | 28,24 m/s |

É possível perceber que corpos de menor massa (e, portanto, maior aceleração) alcançam maiores velocidades em intervalos próximos de tempo.

Caso com atrito dinâmico:

Aplicamos, em todos os casos, uma força de 500N nos objetos e atrito inicial de 293N.

Os dados de velocidade e aceleração foram coletados em intervalos constantes de 2 segundos.

Medimos a influência da força no corpo por 10 segundos, removemos a força, e analisamos o comportamento do corpo por mais 10 segundos (apenas por influência do atrito).

As conclusões do experimento sem interferência do atrito são visíveis também nesse experimento. No entanto, cabe novas observações nas relações entre:

- Atrito e inércia do corpo
- Atrito e força resultante
- Força resultante e aceleração
- Aceleração e velocidade

Atrito e inércia do corpo:

Em todos os experimentos, independente da massa do objeto, o valor absoluto do atrito sofreu alteração em função da mudança do estado de movimento do corpo.

| Massa | Força | Atrito | Força res. | Velocidade | Tempo |
|--------|-------|--------|------------|------------|-------|
| 300 kg | 500 N | -293 N | 207 N | 0 m/s | 0 s |
| 300 kg | 500 N | -220 N | 280 N | x m/s | x s |
| 240 kg | 500 N | -293 N | 207 N | 0 m/s | 0 s |

| | | | | | |
|--------|-------|--------|-------|-------|-----|
| 240 kg | 500 N | -220 N | 280 N | x m/s | x s |
| 180 kg | 500 N | -293 N | 207 N | 0 m/s | 0 s |
| 180 kg | 500 N | -220 N | 280 N | x m/s | x s |

Uma vez em movimento, o valor do atrito diminuiu.

Uma vez que a força aplicada seja equivalente ao valor absoluto do atrito (uma força em sentido oposta à outra), o corpo não sai do estado de inércia.

| Massa | Força | Atrito | Força res. | Velocidade |
|-------|-------|--------|------------|------------|
| 300kg | 500 N | -500 N | 0 N | 0 m/s |
| 240kg | 500 N | -500 N | 0 N | 0 m/s |
| 160kg | 500 N | -500 N | 0 N | 0 m/s |

Atrito e força resultante:

Uma vez aplicada uma força em um corpo, sendo considerado o atrito, o valor absoluto da força aplicada não será totalmente aproveitada.

| Massa | Força | Atrito | Força res. |
|--------|-------|--------|------------|
| 300 kg | 500 N | -293 N | 207 N |
| 240 kg | 500 N | -293 N | 207 N |
| 180 kg | 500 N | -293 N | 207 N |

A força final aplicada no corpo é resultado da diferença da força aplicada e do atrito.

Podemos ter certeza da influência do atrito, e o subsequente impacto na força aplicada em um corpo, comparando as acelerações nos casos de aplicação de 500 N nos corpos de 300, 240 e 180 kg em circunstâncias com e sem atrito.

| Massa | Força | Atrito | Força res. | Aceleração |
|--------|-------|--------|------------|-----------------------|
| 300 kg | 500 N | 0 N | 500 N | 1,67 m/s ² |
| 300 kg | 500 N | -220 N | 280 N | 0,93 m/s ² |
| 240 kg | 500 N | 0 N | 500 N | 2,08 m/s ² |
| 240 kg | 500 N | -220 N | 280 N | 1,17 m/s ² |
| 180 kg | 500 N | 0 N | 500 N | 2,78 m/s ² |
| 180 kg | 500 N | -220 N | 280 N | 1,56 m/s ² |

Dada a relação entre aceleração, força e massa, para corpos de mesma massa, a única forma de existir valores divergentes de aceleração seria a aplicação de forças diferentes no corpo.

Força resultante e aceleração:

A relação entre atrito e força resultante já foi analisada. Uma vez em que o corpo esteja em movimento, a remoção da aplicação de uma força de sentido contrário ao atrito implica na alteração da força resultante.

| Massa | Força | Atrito | Força res. |
|--------|-------|--------|------------|
| 300 kg | 500 N | -220 N | 280 N |
| 300 kg | 0 N | -220 N | -220 N |

A alteração da força resultante aplicada ao corpo influencia seu movimento.

| Massa | Força | Atrito | Força res. | Aceleração |
|--------|-------|--------|------------|-----------------------|
| 300 kg | 500 N | -220 N | 280 N | $0,93 \text{ m/s}^2$ |
| 300 kg | 0 N | -220 N | -220 N | $-0,73 \text{ m/s}^2$ |
| 240 kg | 500 N | -220 N | 280 N | $1,17 \text{ m/s}^2$ |
| 240 kg | 0 N | -220 N | -220 N | $-0,92 \text{ m/s}^2$ |
| 180 kg | 500 N | -220 N | 280 N | $1,56 \text{ m/s}^2$ |
| 180 kg | 0 N | -220 N | -220 N | $-1,12 \text{ m/s}^2$ |

Uma vez em que o corpo recebe influência de uma força contrária ao movimento (no caso desse experimento, o atrito), sua aceleração é alterada.

Aceleração e velocidade:

Uma vez que um corpo esteja sob influência de uma taxa constante de aceleração, sua velocidade sofre alteração crescente ou decrescente de acordo com a positividade da constante.

| Massa | Aceleração | Tempo | Velocidade |
|--------|-----------------------|---------|------------|
| 300 kg | $0,93 \text{ m/s}^2$ | 5,97 s | 5,72 m/s |
| 300 kg | $0,93 \text{ m/s}^2$ | 7,84 s | 7,62 m/s |
| 300 kg | $0,93 \text{ m/s}^2$ | 9,98 s | 9,50 m/s |
| 300 kg | $-0,73 \text{ m/s}^2$ | 12,01 s | 7,98 m/s |
| 300 kg | $-0,73 \text{ m/s}^2$ | 13,97s | 6,50 m/s |
| 300 kg | $-0,73 \text{ m/s}^2$ | 15,93s | 5,06 m/s |

Caso com atrito estático:

Em todos os casos, foi possível perceber que o corpo apenas consegue entrar em movimento quando aplicada uma força contrária e superior, em valor, ao atrito. Nesse caso, o sentido do movimento seria o da força aplicada.

O simulador é incapaz de aplicar mais de 500 N de força em um corpo. Nesse caso, o valor máximo do atrito em que o corpo se encontra em repouso é de 500 N. Dessa forma, não é possível tirar o corpo do estado inercial.

Variações de atrito:

A variação do atrito aplicado em um corpo estático implica na variação da força necessária para tirar o corpo do estado inercial.

De modo geral, a variação do atrito implica na alteração da força resultante do sistema. Implicando, dessa forma, na mudança da aceleração e consequente velocidade do corpo.

Obtendo a força de atrito:

Para cada corpo, iremos analisar a força de atrito cinético. Para isso, teremos em mente que:

$$\text{Força} = \text{massa} * \text{aceleração}$$

$$\text{Aceleração} = \text{velocidade} / \text{tempo}$$

$$\text{Força resultante} = \text{força aplicada} - \text{força de atrito (em valores absolutos)}$$

| Massa | Tempo | Velocidade | Força Aplicada |
|--------|--------|------------|----------------|
| 300 kg | 2,03 s | 1,94 m/s | 500N |

$$\text{Aceleração} = 1,94 / 2,03$$

$$\text{Aceleração} = 0,95 \text{ (aproximadamente)} // \text{é bom checar esse valor e fazer o cálculo de erro}$$

$$\text{Força} = 300 * 0,95$$

$$\text{Força} = 285 \text{ N}$$

$$285 \text{ N} = 500 \text{ N} - \text{força de atrito}$$

$$\text{força de atrito} = 215$$

Dado o erro, é possível afirmar que o valor está de acordo com o informado pelo simulador

| Massa | Tempo | Velocidade | Força Aplicada |
|--------|--------|------------|----------------|
| 240 kg | 4,00 s | 4,76 m/s | 500N |

$$\text{Aceleração} = 4,76 / 4$$

$$\text{Aceleração} = 1,19$$

$$\text{Força} = 240 * 1,19$$

$$\text{Força} = 285,6 \text{ N}$$

$$285,6 \text{ N} = 500 \text{ N} - \text{força de atrito}$$

$$\text{força de atrito} = 214,4 \text{ N}$$

Dado o erro, é possível afirmar que o valor está de acordo com o informado pelo simulador

| Massa | Tempo | Velocidade | Força Aplicada |
|--------|--------|------------|----------------|
| 180 kg | 3,97 s | 6,30 m/s | 500N |

$$\text{Aceleração} = 6,30 / 3,97$$

$$\text{Aceleração} = 1,59 \text{ (aproximadamente)}$$

$$\text{Força} = 180 * 1,59$$

$$\text{Força} = 286,2$$

$$286,2 \text{ N} = 500 \text{ N} - \text{força de atrito}$$

$$\text{força de atrito} = 213,8 \text{ N}$$

Dado o erro, é possível afirmar que o valor está de acordo com o informado pelo simulador

Obtendo o coeficiente de atrito máximo do simulador:

Como analisado anteriormente, dado os erros das medidas tiradas, o simulador consegue de forma eficiente medir a força de atrito.

Usaremos essa informação como referência para calcular os coeficientes de atrito estático e dinâmico. Tendo em mente que:

$$\text{Força de atrito estático} = \text{coeficiente de atrito estático} * \text{força normal}$$

$$\text{Força de atrito dinâmico} = \text{coeficiente de atrito dinâmico} * \text{força normal}$$

Força normal = massa * aceleração da gravidade
Aceleração da gravidade = (aproximadamente) 10m/s^2

Para calcular o coeficiente de atrito máximo, precisamos utilizar um corpo com massa suficientemente pequena para que a força aplicada seja superior à força de atrito.

Optamos por utilizar um corpo de 40 kg de massa. Utilizamos o maior valor possível de atrito que o simulador fornece (o valor da barra de “atrito” estava no máximo). Esses foram os dados obtidos:

| Massa | Força Aplicada | Força de Atrito | Corpo |
|-------|----------------|-----------------|--------------|
| 40 kg | 500 N | 200 N | Inerte |
| 40 kg | 500 N | 150 N | Em movimento |

Tendo como referência essas informações, temos:

Força normal = $40 * 10$

Força normal = 400 N

Caso estático:

$200\text{ N} = \text{Coeficiente de atrito} * 400\text{ N}$

Coeficiente de atrito = 0,5

Caso dinâmico

$150\text{ N} = \text{Coeficiente de atrito} * 400\text{ N}$

Coeficiente de atrito = 0,375

Comportamento da energia cinética:

Em todos os casos, é visível a tendência não-linear de crescimento e decrescimento da energia cinética de acordo com a velocidade (que, como vimos, é alterada em função da aceleração. Por sua vez, esta é influenciada pela massa do corpo e da força resultante aplicada).

Em todos os casos, velocidades maiores para um mesmo corpo implicaram em maior quantidade de energia cinética em um mesmo intervalo de tempo.

| Massa | Velocidade | Tempo | Força resultante | Energia cinética |
|--------|------------|---------|------------------|------------------|
| 300 kg | 17,06 m/s | 10,05 s | 500 N | 43 656,54 J |
| 300 kg | 9,5 m/s | 9,98 s | 280 N | 13 537,50 J |
| 240 kg | 21,08 m/s | 10,00 s | 500 N | 53 323,97 J |
| 240 kg | 11,86 m/s | 9,97 s | 280 N | 16 879,15 J |
| 180 kg | 28,24 m/s | 9,92 s | 500 N | 71 774,79 J |

180 kg 15,74 m/s 9,98 s 280 N 22 297,28 J

Como visto anteriormente, a diferença de valores de velocidade em corpos de mesma massa sob ação de uma mesma força se justifica pela existência ou não de atrito.

A ausência de atrito no sistema modifica a força resultante e, consequentemente, aceleração para um determinado corpo. Consequentemente, a variação da velocidade é modificada, assim como a energia cinética do corpo.

Vale ressaltar que, matematicamente, a energia cinética é dada por

$$\text{energia cinética} = (\text{massa} * \text{velocidade}^2)/2$$

 O que é facilmente observado pelo comportamento analisado.

No experimento com atrito, no momento em que retiramos a força de 500 N, a força resultante do sistema muda. O atrito atua sobre o corpo no sentido contrário ao movimento, alterando sua aceleração e, consequentemente, sua velocidade. Uma vez reduzida a velocidade, o corpo apresenta uma energia cinética menor ao momento anterior.

| Massa | Força resultante | Velocidade | Energia cinética |
|--------|------------------|------------|------------------|
| 300 kg | 280 N | 7,62 m/s | 8 709,66 J |
| 300 kg | 280 N | 9,50 m/s | 13 537,50 J |
| 300 kg | -220 N | 7,98 m/s | 9 552,06 J |
| 240 kg | 280 N | 9,48 m/s | 10 784,45 J |
| 240 kg | 280 N | 11,86 m/s | 16 879,15 J |
| 240 kg | -220 N | 9,96 m/s | 11 904,19 J |
| 180 kg | 280 N | 12,64 m/s | 14 379,26 J |
| 180 kg | 280 N | 15,74 m/s | 22 297,28 J |
| 180 kg | -220 N | 13,22 m/s | 15 729,16 J |

Distâncias que cada objeto percorre:

O teorema do trabalho e energia nos afirma que existe uma relação dada da seguinte forma:

$$\text{trabalho} = \text{energia cinética final} - \text{energia cinética inicial}$$

Onde:

$$\text{trabalho} = \text{força aplicada} * \text{deslocamento}$$

$$\text{energia cinética} = \text{massa} * \text{velocidade}^2 * (1/2)$$

Analisaremos os deslocamentos dos objetos para os casos com e sem atrito.

Como um objeto tende a conservar seu estado de movimento até que uma força atue sobre ele, nos casos sem atrito, iremos obter a distância percorrida dos objetos até o momento em que sua velocidade máxima é alcançada. Como não há

interferência do atrito, nessa circunstância, o corpo percorreria uma quantidade indefinida de distância em uma quantidade indefinida de tempo.

Sem atrito - 300 kg:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|--------------------|------------------------|----------------|
| 300 kg | 0 m/s ² | 17,06 m/s ² | 500 N |

$$\text{energia cinética inicial} = 300 * 0^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética inicial} = 0 \text{ J}$$

$$\text{energia cinética final} = 300 * 17,06^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética final} = 43\,656,54 \text{ J}$$

$$\text{trabalho} = 43\,656,54 - 0$$

$$\text{trabalho} = 43\,656,54 \text{ J}$$

$$43\,656,54 = 500 * \text{deslocamento}$$

$$\text{deslocamento} = 87,32 \text{ m (arredondando para cima)}$$

Sem atrito - 240 kg:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|--------------------|------------------------|----------------|
| 240 kg | 0 m/s ² | 21,08 m/s ² | 500 N |

$$\text{energia cinética inicial} = 240 * 0^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética inicial} = 0 \text{ J}$$

$$\text{energia cinética final} = 240 * 21,08^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética final} = 53\,323,97 \text{ (arredondando para cima)}$$

$$\text{trabalho} = 53\,323,97 - 0$$

$$\text{trabalho} = 53\,323,97 \text{ J}$$

$$53\,323,97 = 500 * \text{deslocamento}$$

$$\text{deslocamento} = 106,65 \text{ m (arredondando para cima)}$$

Sem atrito - 180 kg:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|--------------------|------------------------|----------------|
| 180 kg | 0 m/s ² | 28,24 m/s ² | 500 N |

$$\text{energia cinética inicial} = 180 * 0^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética inicial} = 0 \text{ J}$$

$$\text{energia cinética final} = 180 * 28,24^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética final} = 71\,774,79 \text{ J (arredondando para cima)}$$

$$\text{trabalho} = 71\,774,79 - 0$$

$$\text{trabalho} = 71\,774,79 \text{ J}$$

$$71\,774,79 = 500 * \text{deslocamento}$$

$$\text{deslocamento} = 143,55 \text{ m (arredondando para cima)}$$

Com atrito - 300 kg:

Análise do corpo sob ação de uma força no sentido do movimento:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|--------------------|----------------------|----------------|
| 300 kg | 0 m/s ² | 9,5 m/s ² | 280 N |

$$\text{energia cinética inicial} = 300 * 0^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética inicial} = 0 \text{ J}$$

$$\text{energia cinética final} = 300 * 9,5^2 * (1/2)$$

$$\text{energia cinética final} = 13\,537,5 \text{ J}$$

$$\text{trabalho} = 13\,537,5 - 0$$

$$\text{trabalho} = 13\,537,5 \text{ J}$$

$$13\,537,5 = 280 * \text{deslocamento}$$

$$\text{deslocamento} = 48,35 \text{ m (arredondando para cima)}$$

Análise do corpo sob ação de uma força contrária ao sentido do movimento:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|----------------------|-----------------------|----------------|
| 300 kg | 9,5 m/s ² | 2,06 m/s ² | -220 N |

$$\text{energia cinética inicial} = 300 * 9,5^2 * (1/2)$$

energia cinética inicial = 13 537,5 J

energia cinética final = $300 * 2,96^2 * (1/2)$

energia cinética final = 1 314,24 J

trabalho = 1 314,24 - 13 537,5

trabalho = -12 223,26 J

-12 223,26 = -220 * deslocamento

deslocamento = 55,57 m (arredondando para cima)

deslocamento total = 48,35 + 55,57

deslocamento total = 103,92 m

Com atrito - 240 kg:

Análise do corpo sob ação de uma força no sentido do movimento:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|--------------------|------------------------|----------------|
| 240 kg | 0 m/s ² | 11,86 m/s ² | 280 N |

energia cinética inicial = $240 * 0^2 * (1/2)$

energia cinética inicial = 0 J

energia cinética final = $240 * 11,86^2 * (1/2)$

energia cinética final = 16 879,16 J (arredondado para cima)

trabalho = 16 879,16 - 0

trabalho = 16 879,16 J

16 879,16 = 280 * deslocamento

deslocamento = 60,29 m (arredondado para cima)

Análise do corpo sob ação de uma força contrária ao sentido do movimento:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|------------------------|-----------------------|----------------|
| 240 kg | 11,86 m/s ² | 2,54 m/s ² | -220 N |

energia cinética inicial = $240 * 11,86^2 * (1/2)$

energia cinética inicial = 16 879,16 J (arredondado para cima)

energia cinética final = $240 * 2,54^2 * (1/2)$

energia cinética final = 774,2 J (arredondando para cima)

trabalho = 774,2 - 16 879,16

trabalho = -16 104,96 J

-16 104,96 = -220 * deslocamento

deslocamento = 73,21 m (arredondando para cima)

deslocamento total = 60,29 + 73,21

deslocamento total = 133,5 m

Com atrito - 180 kg:

Análise do corpo sob ação de uma força no sentido do movimento:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|--------------------|------------------------|----------------|
| 180 kg | 0 m/s ² | 15,74 m/s ² | 280 N |

energia cinética inicial = $180 * 0^2 * (1/2)$

energia cinética inicial = 0 J

energia cinética final = $180 * 15,74^2 * (1/2)$

energia cinética final = 22 297,29 J (arredondando para cima)

trabalho = 22 297,29 - 0

trabalho = 22 297,29 J

22 297,29 = 280 * deslocamento

deslocamento = 79,64 m (arredondando para cima)

Análise do corpo sob ação de uma força contrária ao sentido do movimento:

| Massa | Velocidade inicial | Velocidade final | Força aplicada |
|--------|------------------------|-----------------------|----------------|
| 180 kg | 15,74 m/s ² | 3,32 m/s ² | -220 N |

energia cinética inicial = $180 * 15,74^2 * (1/2)$

energia cinética inicial = 22 297,29 J (arredondando para cima)

energia cinética final = $180 * 3,32^2 * (1/2)$

energia cinética final = 992,02 J (arredondando para cima)

trabalho = 992,02 - 22 297,29

trabalho = -21 305,28 J (arredondando para cima)

-21 305,28 = -220 * deslocamento

deslocamento = 96,85 m (arredondando para cima)

deslocamento total = 79,64 + 96,85

deslocamento total = 176,49 m

Relação do tempo do cronômetro e tempo do simulador:

O simulador calcula internamente os valores que temos acesso, deixando restrito os dados do tempo.

Para a coleta de dados, utilizamos um cronômetro externo, tentando começar e parar a contagem do tempo em intervalos de 2 segundos em consonância com o começo e término da coleta de dados do simulador no mesmo intervalo de tempo.

Para estimar a relação entre o tempo do nosso cronômetro e o do simulador, vamos usar como referência:

A aceleração fornecida

A velocidade em tempo X

Iremos estipular, com base na definição de aceleração, qual deveria ser o tempo X do simulador e comparar com o tempo coletado.

Ressaltamos que a aceleração é dada por:

aceleração = velocidade / tempo

Como apontado na tabela de comparação de tempo, nossas medidas ficaram em um intervalo [-0.35 , -0.02] segundos de diferença do tempo do simulador. Intervalo esse que se manteve constante durante toda a coleta de dados

IV. REFERÊNCIAS

UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER (Boulder, Colorado, Estados Unidos da América). PhET™ Interactive Simulations. **Forças e Movimentos: Noções Básicas**. 2.3.17. [S. l.], 17 jun. 2021. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_pt_BR.html. Acesso em: 10 set. 2021.

RESNICK, Robert; WALKER, Jearl; HALLIDAY, David. **Fundamentos de Física: Mecânica**. 10. ed. rev. [S. l.]: LTC, 2016. 372 p. v. 1. ISBN 8521630352.