

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS**  
**LABORATÓRIO DE FÍSICA 1**

**Corpos Rígidos**

**JOÃO VICTOR ALCÂNTARA PIMENTA**

**Nº USP: 11820812**

**DAVI GONÇALVES SELLIN**

**Nº USP: 11810522**

**SÃO CARLOS, 2020**

## 1. RESUMO:

Explora-se nesta prática três experimentos relacionado a grandezas rotacionais. O primeiro experimento se trata da Roda de Maxwell. Neste, a partir da conservação de energia no sistema, pode-se estimar o momento de inércia da roda. Além disso, pode-se estimar com o mesmo momento com as dimensões da roda. Respectivamente estimados como:  $0,0055 \pm 0,0003 \text{ N.m}$  e  $0.00475 \pm 0.00001 \text{ Kg.m}^2$ .

A ideia para o segundo experimento, é parecida. Baseia-se na conservação de momento angular na ausência de torque externo. Colide-se duas rodas, o momento de Inércia de uma das rodas já previamente calculado por suas dimensões e, com a velocidade angular final após a colisão, é possível definir também o momento de inércia desta peça que colidiu e comparar os resultados. Foram estes definidos, pela dimensão e experimental, respectivamente:  $0.00523 \pm 0.00003 \text{ N.m}$  e  $0.0061 \pm 0.0005 \text{ Kg.m}^2$ .

Já o terceiro experimento, consiste em um giroscópio e nossa grandeza de interesse vai ser a velocidade de precessão. Após colocado o giroscópio em seu eixo, é medido o período de precessão e definido sua velocidade. A outra forma de determinar esta velocidade é com o momento de inércia da peça que define o momento angular que mantém o giroscópio. A partir de suas dimensões calcula-se  $I$ . Os dois resultados, experimental e indireto, para as velocidades são, respectivamente:  $0.76 \pm 0.03 \text{ rad/s}$  e  $0.94 \pm 0.02 \text{ rad/s}$ .

## 2. INTRODUÇÃO TEÓRICA:

### 2.1 RODA DE MAXWELL

Em um corpo rígido, a energia cinética é descrita por dois tipos, translacional e rotacional. A translacional pode ser obtida de forma direta a partir da descrição de movimento do centro de massa. Assim, ela será descrita por:

$$K_t = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad (I)$$

Onde  $m$  é a massa do corpo e  $v$ , a velocidade do centro de massa. Por outro lado, a energia cinética rotacional é dada por:

$$K_r = \frac{1}{2} I \times \omega^2 \quad (II)$$

Assim, a energia cinética total pode ser referenciada pela soma das duas equações anteriores:

$$K = \frac{1}{2} (m \times v^2 + I \times \omega^2) \quad (III)$$

A roda de maxwell nada mais é que um corpo rígido. Sua energia vai ser descrita neste relatório por (III) junto com a energia potencial gravitacional.

Dessa forma, sabendo sobre sua altura inicial em relação à um nível de referência é fácil determinar sua energia potencial gravitacional. A sua energia cinética translacional é razoável de se extrair da relação de rolamento suave dada por:

$$v_{cm} = R \times \omega \quad (IV)$$

Também é possível determinar que,

$$v_{cm} = \frac{2h}{t} \quad (V)$$

Assim, nossa variável a determinar com o experimento fica como a única variável indefinida. O momento de inércia do corpo rígido poderá sair das relações de energia da forma proposta no experimento.

## 2.2 COLISÃO ROTACIONAL

As grandezas rotacionais são fortemente relacionadas com as grandezas de movimento linear. Assim, é possível traçar um paralelo entre a conservação do momento linear com a conservação do momento angular. Sabendo disso, o conceito segue assim: Na ausência de torque externo, o momento angular é conservado. Assim, nestas condições;

$$L = I \times \omega = cte \quad (VI)$$

Assim, é fácil ver que é possível igualar o momento angular inicial ao final para obter o resultado necessário.

## 2.3 GIROSCÓPIO

O giroscópio é um objeto com efeitos de impressionar por seu funcionamento contra intuitivo. Sua compreensão se baseia na ideia de que a variação do momento angular no tempo é dada pelo torque. Mantendo isso em mente, é fácil explicar seu comportamento. A ideia é como se segue. Sabe-se, nesta montagem, inicialmente que:

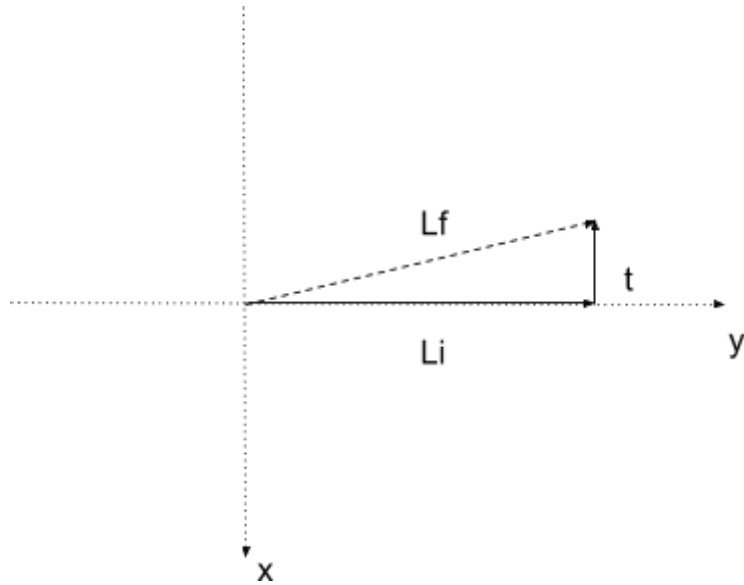
$$\vec{\tau} = \vec{r} \times M \times g \quad (V)$$

$$\vec{L} = I \times \omega \quad (VI)$$

A partir disso, é possível provar que:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\tau} \quad (VII)$$

O torque, no giroscópio, é causado pela força peso que está na direção Z. Assim:



*Figura I: Variação momento angular*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

Sabendo disso, é fácil ver que o torque deve realizar em um intervalo  $dt$  de tempo, uma variação similar à da imagem. No plano X-Y. Assim, é necessário que a roda adquira rotação nesse plano para corresponder a essa variação.

Sabendo ângulo de variação em  $dt$  ( $d\phi$ ), é possível escrever que:

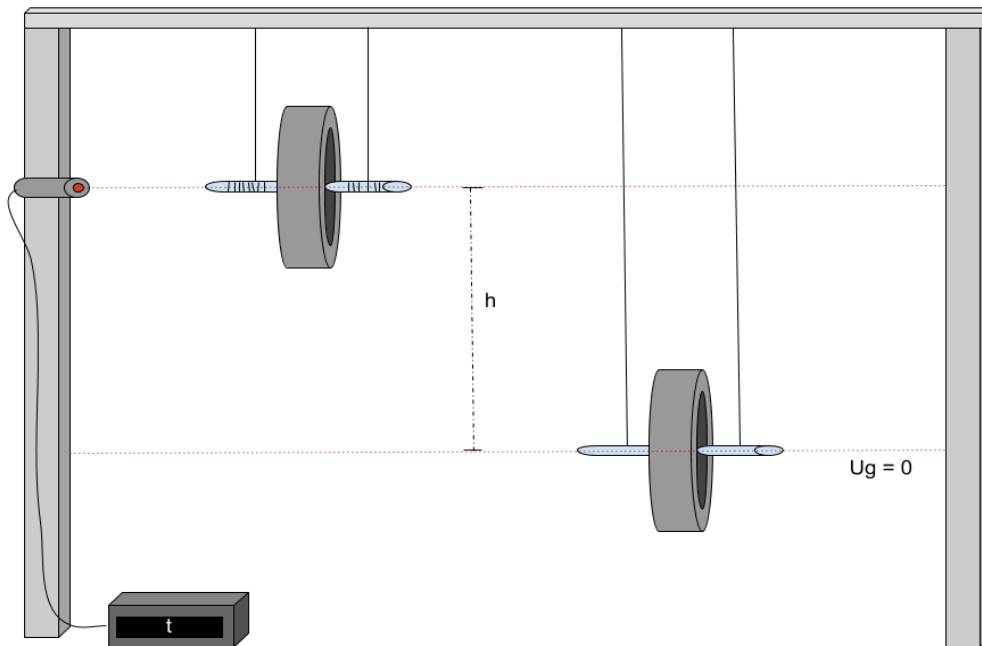
$$\text{sen}(d\phi) \approx d\phi = \left| \frac{d\vec{L}}{L} \right| = \frac{M \times g \times D \times dt}{I \times \omega} \quad (\text{VIII})$$

Assim, a velocidade de precessão ( $\Omega$ ) pode ser definida:

$$\Omega = \frac{d\phi}{dt} = \frac{M \times g \times D}{I \times \omega} \quad (\text{IX})$$

### **3. MÉTODOS EXPERIMENTAIS:**

#### **3.1 EXPERIMENTO 1**



*Figura II: Experimento Roda Maxwell*

*Fonte: Elaborada pelos compiladores*

O primeiro experimento é baseado na Roda de Maxwell. Tenta-se com a prática, determinar o momento de inércia da roda de forma experimental e comparar com os resultados dados pelo cálculo a partir das dimensões e massa.

Na prática, o método usado se baseia na conversão de energia potencial gravitacional armazenada no nível de energia de altura  $h$  para energia cinética rotacional e translacional quando no nível de energia  $U_g = 0$ . Para tal, analisa-se a quantidade de energia nos dois pontos em questão. Uma vez que no primeiro ponto toda energia vai ser dada por energia potencial gravitacional e, no segundo ponto analisado, ela vai ser dada pela energia cinética translacional mais a energia cinética rotacional, podemos igualar ambas e ter a seguinte relação:

$$M \times g \times h = \frac{1}{2} \times I_{cm} \times \omega^2 + \frac{1}{2} \times M \times v_{cm}^2 \quad (X)$$

Uma vez que não há deslizamento entre o cordão e o eixo, vale também a condição de rolamento suave (IV) e ficamos com a seguinte relação, onde  $R$  é o raio do eixo:

$$M \times g \times h = \frac{1}{2} \times \left( \frac{I_{cm}}{M \times R^2} + 1 \right) \times M \times v_{cm}^2$$

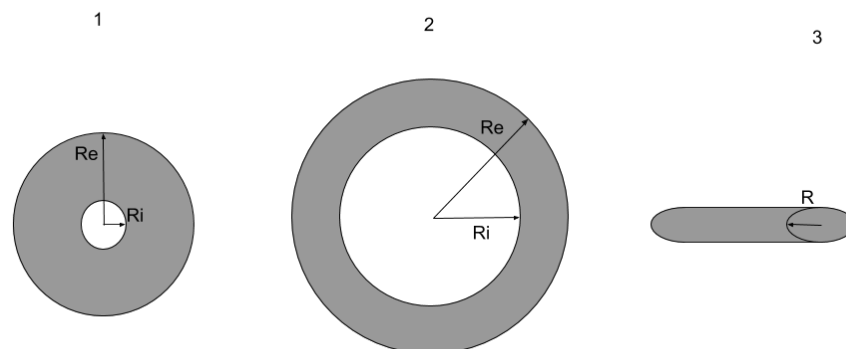
Assuma também (V):

$$I_{cm} = \left( \frac{g \times t^2}{2 \times h} - 1 \right) \times M \times R^2 \quad (\text{XI})$$

Assim, é fácil determinar o momento de inércia da roda tendo posse apenas da massa, do raio do eixo, da aceleração gravitacional, do tempo de queda e da altura  $h$  determinada no experimento. O tempo de queda é marcado com o auxílio de um sensor no nível  $U_g = Mgh$  que inicia um contador quando a roda começa sua descida. O tempo é dado então pelo contador quando a roda passa pelo nível 0 de referência.

### 3.1.1 DETERMINAÇÃO MOMENTO DE INÉRCIA

A roda estudada pode ser dividida em três objetos de Momento de Inércia facilmente calculável. São estes os seguintes objetos e suas respectivas dimensões para o cálculo do momento de inércia:



*Figura III: Dimensões Roda Maxwell*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

A partir destas dimensões seguem as equações utilizadas para o cálculo do momento de inércia. Em 1 e 2:

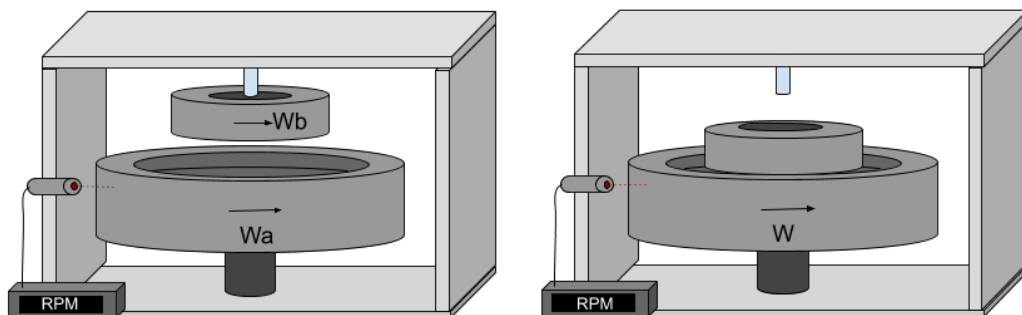
$$I = \frac{M \times (R_e^2 + R_i^2)}{2} \quad (\text{XII})$$

Já em 3:

$$I = \frac{M \times R^2}{2} \quad (\text{XIII})$$

Onde, nas duas equações, M representa a massa do objeto em questão.

### 3.2 EXPERIMENTO 2



*Figura IV: Experimento colisão rotacional*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

O experimento de colisão rotacional se baseia na ideia que a velocidade de rotação ( $W_a$ ) se altera com a adição ao movimento de um corpo com momento de inércia  $I_b$ . Assim, se coloca o corpo maior (de baixo, na figura) para rodar com velocidade ( $W_a$ ) determinada pelo sensor acoplado ao experimento. Em um dado momento a roda de cima é solta e se torna solidária à de baixo. Neste momento a velocidade de rotação se altera por uma quantidade



diretamente relacionada com o momento de inércia da roda adicionada, já que o momento angular deve ser conservado (VI). Neste caso, por simplicidade,  $W_b = 0$ . A relação necessária para o cálculo é a seguinte:

$$I_a \times w_a + I_b \times w_b = (I_a + I_b) \times w$$

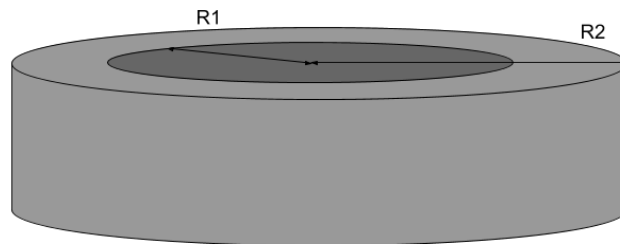
$$w = \frac{I_a \times w_a + I_b \times w_b}{I_a + I_b}$$

Levando em consideração que  $w_b = 0$  tem-se que:

$$I_a = \frac{I_b \times w}{w_a - w} \quad (\text{XIV})$$

### 3.2.1 DETERMINAÇÃO MOMENTO DE INÉRCIA ( $I_b$ )

Nesse caso somente é necessário definir o momento de inércia da peça que será solta sobre a roda maior.



*Figura V: Dimensões roda menor, colisão rotacional*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

Para este cálculo basta a fórmula:

$$I_b = \frac{M \times (R_1^2 + R_2^2)}{2} \quad (\text{XV})$$

### 3.2.2 PAPEL CONSERVAÇÃO ANGULAR

Por mais presente que a física esteja no nosso dia a dia, esforçando-se cada vez mais ao longo de gerações a fim de apresentar soluções coerentes aos fenômenos naturais que nos circundam, essa recebe uma atenção especial quando posta em prática pelos mais diversos atletas no mundo dos esportes. Um grande exemplo se concretiza nas apresentações de ginastas e patinadores esportivos é o emprego do momento angular e suas aplicações.

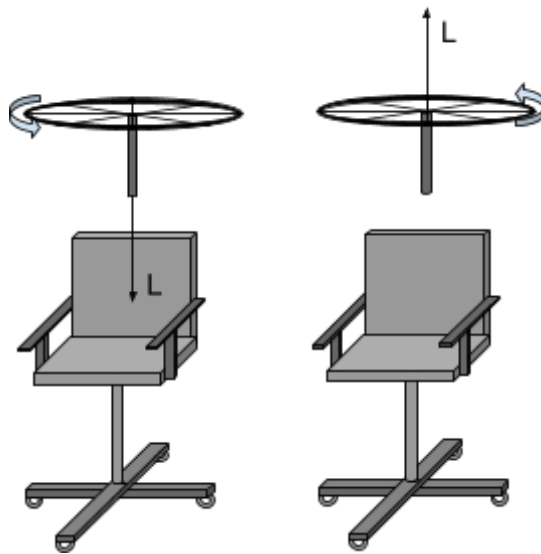
O momento angular (ou momentum angular) é uma propriedade física assumida pelos corpos em questão quando entram em estado de rotação a qual tende a se conservar durante um determinado intervalo de tempo. Estas afirmações nos permitem compreender a dinâmica das acrobacias e giros desempenhados por tais atletas.

A conservação de momento angular ocorre na ausência de forças externas, representada pela relação demonstrada em (VII), ela explica o porquê, durante suas performances, quando os atletas se encolhem, efetuam movimentos giratórios mais rápidos. Por iniciarem previamente um movimento de rotação com os membros superiores e/ou inferiores estendidos, ao encolher os mesmos, sua rapidez angular aumenta visando conservar o momento angular em questão, aferindo ao atleta não só maior controle sobre seus movimentos, mas também mais eficiência ao realizá-los.

Com relação à demonstração do banquinho giratório, a verificação da conservação do momento angular se dá ao analisarmos a consistência vetorial do experimento ao desencadear um movimento de rotação sobre a roda de bicicleta, para garantir que as forças resultantes

sobre o sistema em análise resulte em magnitude nula, o banquinho começa a rotacionar em condições opostas à da roda de bicicleta, equivalendo-se ao vetor momento angular imposto pela mesma.

### 3.2.3 SENTIDO ROTAÇÃO BANCO



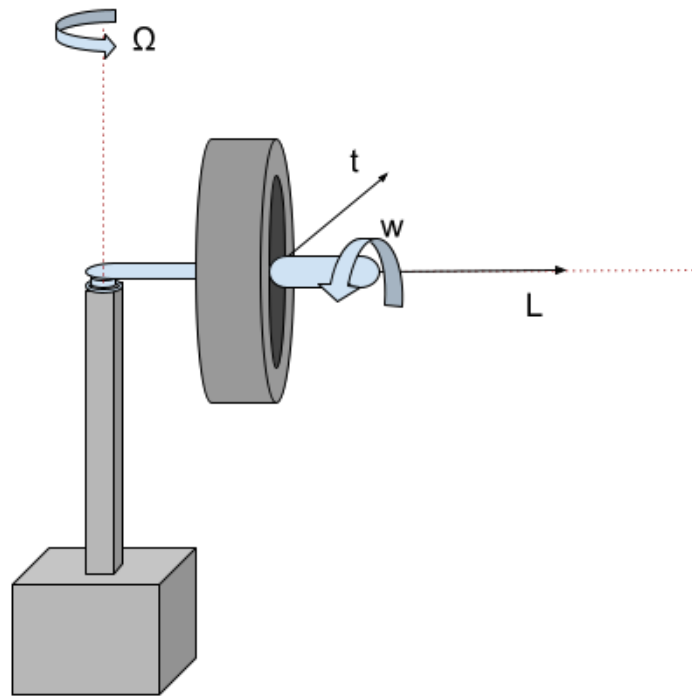
*Figura VI: Rotação cadeiras*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

O sentido de rotação do banco pode ser explicado pela conservação de momento angular no eixo  $Z$ , vertical. Pensando dessa forma é fácil definir o sentido de rotação do banco, já que essa deve gerar momento angular no sentido contrário.

Na situação 1, o banco rodou para o sentido horário. Gerando momento angular no sentido negativo, para baixo. Assim a roda deve estar rodando para o sentido anti-horário, já que deve criar momento angular no sentido oposto. Na situação 2, a mesma lógica se aplica e a roda deve estar rodando no sentido horário, já que o banco roda no anti-horário.

### 3.3 EXPERIMENTO 3



*Figura VII: Giroscópio*

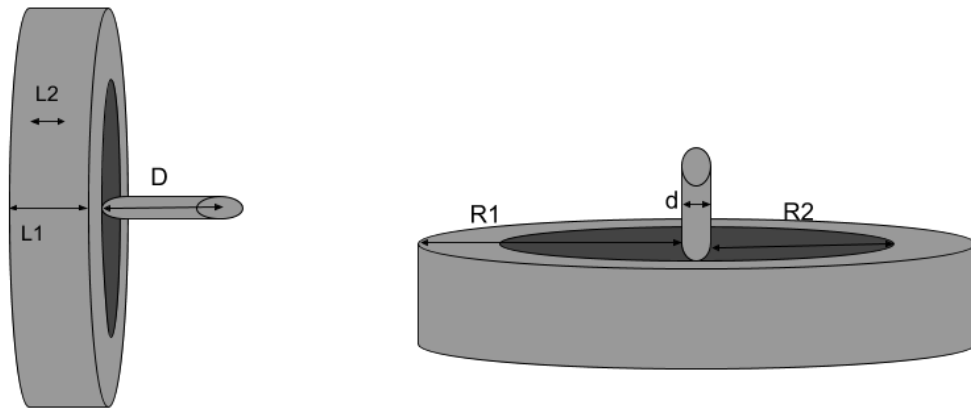
*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

Um outro método de determinação do momento de inércia da roda pode ser derivado do giroscópio. Ao adicionar momento angular à roda do giroscópio, é possível ver o efeito do movimento de precessão. Tendo o ângulo percorrido em um tempo específico na rotação relacionada ao movimento supracitado, é possível, com algumas mais dimensões da roda, definir seu momento de inércia.

Considere  $\vec{\tau}$  o torque e  $D$  o raio associado,  $M$  a massa da roda,  $g$  a aceleração gravitacional,  $\vec{L}$  o momento angular,  $I$  o momento de inércia, e  $\omega$  a velocidade angular. A partir das medidas do período de precessão, massa e  $D$ , e utilizando a equação (IX) é fácil definir o momento de inércia referente à roda.

### 3.2.1 DETERMINAÇÃO MOMENTO DE INÉRCIA

As dimensões necessárias para o cálculo do momento de inércia são atribuídos da forma na imagem abaixo representada:



*Figura VIII: Dimensões giroscópio*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

A figura pode ser dividida em três seções de momento de inércia facilmente calculáveis. A parte interna do anel, a externa e o cilindro no eixo. A primeira pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$I = \frac{M \times (R_1^2 + R_2^2)}{2} \quad (\text{XVI})$$

A segunda, por:

$$I = \frac{M \times (R_2^2 + (d/2)^2)}{2} \quad (\text{XVII})$$

E finalmente, o cilindro, por:

$$I = \frac{M \times (d \div 2)^2}{2} \quad (\text{XVIII})$$

Compara-se esse resultado ao obtido pelo método anterior.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

##### 4.1 EXPERIMENTO 1

##### 4.1.1 MEDIDAS E MASSAS

Raio 1 e raio 2 representam, subsequentemente os raios internos e externos. Medidas:

OBJETO	R1 (m)( $\pm 0.0001$ )	R2 (m)( $\pm 0.0001$ )
1	0.0060	0.0625
2	0.0625	0.0660
3	0.0000	0.0060

*Tabela I: Medidas exp 1*

*Fonte: Elaborada pelos Compiladores*

Os pesos medidos são:

OBJETO	MASSA (Kg)( $\pm 0.01$ )
1	121.25
2	470.70
3	923.80

*Tabela II: Medidas exp 1*

*Fonte: Elaborada pelos Compiladores*

Seguem as dimensões:

Dimensão	Medida (m) ( $\pm 0.001$ )
h	0.467

*Tabela III: Medidas exp 1*

*Fonte: Elaborada pelos Compiladores*

## 4.1.2 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO DE INÉRCIA

### 4.1.2.1 GEOMÉTRICO

Para o primeiro objeto considerado:

$$I = \frac{(121.25 \pm 0.01) \times ((0.006 \pm 0.0001) + (0.0625 \pm 0.0001))^2}{2}$$

$$I = 0.00000218 \pm 0.00000006 \text{ Kg.m}^2$$

Para o segundo objeto:

$$I = \frac{(470.70 \pm 0.01) \times ((0.0660 \pm 0.0001) + (0.0625 \pm 0.0001))^2}{2}$$

$$I = 0.00395 \pm 0.00001 \text{ Kg} \times m^2$$

Já para o cilindro:

$$I = \frac{(923.80 \pm 0.01) \times (0.006 \pm 0.0001)^2}{2}$$

$$I = 0.00382 \pm 0.00001 \text{ Kg} \times m^2$$

A inércia total então vai ser:  $0.00475 \pm 0.00001 \text{ Kg} \times m^2$

### 4.1.2.2 EXPERIMENTAL

No método experimental os tempos tomados foram os abaixo apresentados, junto aos momentos de inércia relacionados.

$\Delta t$ (s)	Momento de inércia ( $Kg.m^2$ )
3.10	$0.0055 \pm 0.0003$
3.11	$0.0055 \pm 0.0003$
3.12	$0.0056 \pm 0.0003$

*Tabela IV: tempo e momento de inércia*

*Fonte: Elaborado pelos Compiladores*

Os momentos de inércia acima foram calculados fundamentando-se na relação (XI), tem-se que o momento de inércia médio assume a seguinte representação algébrica:

$$I = 0.0055 \pm 0.0003 \text{ Kg} \times m^2$$

Na fórmula, h foi definido como  $0.467 \pm 0.001 \text{ m}$ .

## 4.2 EXPERIMENTO 2

### 4.2.1 MEDIDAS E MASSAS

Raio 1 e raio 2 representam, subsequentemente os raios externos e internos. Medidas:

R1 (m)( $\pm 0.0001$ )	R2 (m)( $\pm 0.0001$ )
0.0325	0.0060

*Tabela V: Medidas exp 2*

*Fonte: Elaborada pelos Compiladores*

O peso medido é:



MASSA (Kg)( $\pm 0.0001$ )
2.2429

*Tabela VI: Medidas exp 2*

*Fonte: Elaborada pelos Compiladores*

## 4.2.2 DETERMINAÇÃO DO MOMENTO DE INÉRCIA

### 4.1.2.1 GEOMÉTRICO

Para o cálculo do momento de inércia desse objeto, fundamenta-se na relação (X):

$$I = \frac{(2.2429 \pm 0.0001) \times ((0.0325 \pm 0.0001)^2 \times (0.0600 \pm 0.0001)^2)}{2}$$

$$I = 0.00523 \pm 0.00003 \text{ Kg} \times m^2$$

### 4.1.2.2 EXPERIMENTAL

A partir das velocidades antes e depois da colisão definidas no tópico 4.2.3, e a partir da equação (XIV), definem-se os momento de inércia:

Choque	Momento de inércia $\text{Kg.m}^2$
1	$0.00558 \pm 0.00003$
2	$0.00602 \pm 0.00004$
3	$0.00665 \pm 0.00004$

*Tabela VII: Momento de Inércia por choque*

*Fonte: Elaborado pelos Compiladores*

A estimativa, para este método, é:  $(0.0061 \pm 0.0005) \text{ Kg.m}^2$

### 4.2.3 ENERGIA CINÉTICA NA RODA

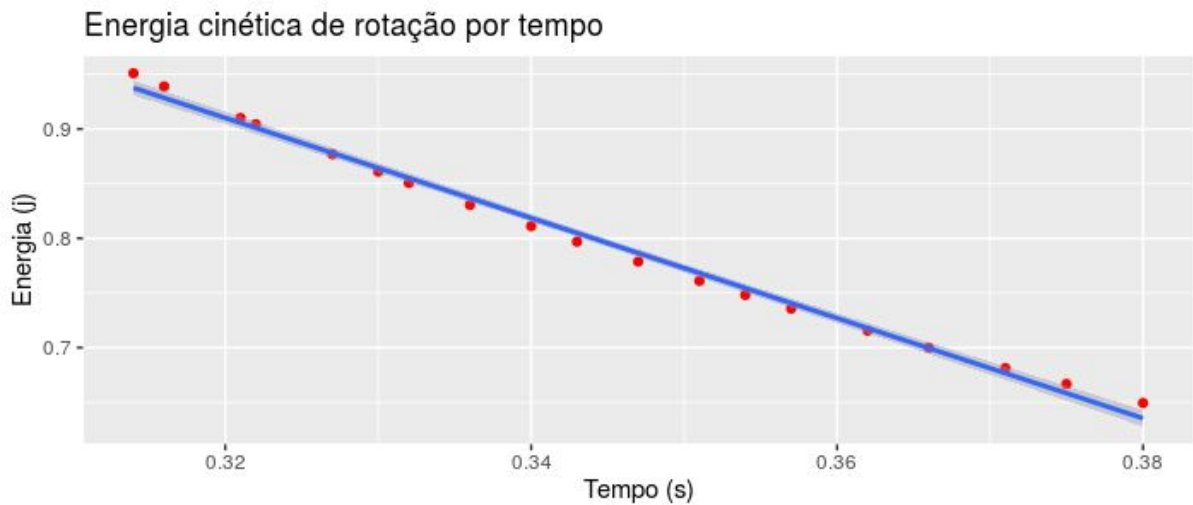


Gráfico I: Energia cinética de rotação por tempo

Fonte: Elaborado pelo compilador

O gráfico acima representa a dissipação da energia cinética rotacional pelo tempo. Feita a devida regressão, que tem encaixe linear com  $R^2 = 0.9972$ , tem como coeficientes:

Dimensão	Estimativa	Erro associado
Coeficiente Linear	2.375	0.03
Coeficiente Angular	-0.00458	0.00009

Tabela VIII: Estimativa Regressão Linear

Fonte: Elaborado pelos compiladores

Onde o coeficiente angular representa a perda de energia em joules por segundo. Sabendo o período de rotação a partir dos dados é possível deduzir que a perda de energia cinética de rotação por ciclo de oscilação é:  $0.000017 \pm 0.000005 \text{ J}$ .

As velocidades angulares antes e depois da colisão são as seguintes:

i	$\omega_1 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$	$\omega_2 \left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$
---	-------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

1	14.444	7.453
2	22.765	12.177
3	24.353	13.629

*Tabela IX: Velocidades angulares*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

A partir dos dados apresentados é fácil determinar também:

Momento analisado	Energia cinética de rotação antes do choque	Energia cinética de rotação depois do choque	Conservação de energia
1	$0.582 \pm 0.003$	$0.300 \pm 0.002$	51.55%
2	$1.56 \pm 0.01$	$0.834 \pm 0.005$	53.46%
3	$1.97 \pm 0.01$	$1.103 \pm 0.007$	55.99%

*Tabela X: Energia cinética de rotação*

*Fonte: Elaborado pelos Compiladores*

Como esperado, por se tratar de uma colisão, não houve conservação de energia cinética, assim como em colisões lineares. De acordo com os dados observados, a conservação flutuou em torno de 50-60%.

### 4.3 EXPERIMENTO 3

#### 4.3.1 MEDIDAS E MASSAS

Seguem as medidas, todas em m com erro de ( $\pm 0.001$ ):

Objeto	R1	R2	D	L1	L2	d
Roda	0.702	0.625	0.565	0.203	0.0043	0.0070

*Tabela XI: Medidas exp 3*

*Fonte: Elaborada pelos Compiladores*

As massas foram calculadas a partir da densidade do material (Aço -  $8000 \frac{Kg}{m^3}$ ) e seguem na seguinte tabela, todas em Kg, onde M1 é a massa do cilindro furado maior, M2 do menor, e M3 do eixo:

X	Total ( $\pm 0.001$ )	M1 ( $\pm 0.016$ )	M2 ( $\pm 0.008$ )	M3 ( $\pm 0.001$ )
Massas	1.022	0.520	0.432	0.070

*Tabela XII: Medidas exp 3*

*Fonte: Elaborada pelo Compilador*

#### **4.3.2 DETERMINAÇÃO MOMENTO DE INÉRCIA**

Com a massa determinada, basta agora aplicar a fórmula dos momentos já predeterminadas.

Para o aro maior:

$$I = \frac{(0.520 \pm 0.016) \times ((0.0702 \pm 0.0001) + (0.0625 \pm 0.0001))^2}{2}$$
$$I = 0.00230 \pm 0.00009 \text{ Kg} \times m^2$$

Para o menor aro:

$$I = \frac{(0.416 \pm 0.008) \times ((0.0035 \pm 0.0001) + (0.0625 \pm 0.0001))^2}{2}$$
$$I = 0.00085 \pm 0.00002 \text{ Kg} \times m^2$$

Já para o cilindro:

$$I = \frac{(0.018 \pm 0.001) \times (0.0035 \pm 0.0001)^2}{2}$$

$$I = 0.00230 \pm 0.00009 \text{ Kg} \times \text{m}^2$$

### 4.3.3 FREQUÊNCIA DE PRECESSÃO

#### 4.3.3.1 POR $\omega$

A partir da velocidade pode-se determinar as seguintes frequências de precessão:

Momento analisado	Velocidade angular registrada (rad/s)	Frequência de precessão (rad/s)
1	256.375	$0.77 \pm 0.03$
2	271.193	$0.74 \pm 0.03$
3	255.61045	$0.78 \pm 0.03$
4	261.1082374	$0.76 \pm 0.03$

*Tabela XIII: Precessão indireta*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

#### 4.3.3.2 PELO PERÍODO MEDIDO

Medindo os períodos de precessão, é possível também determinar as seguintes frequências:

Momento analisado	Tempo registrado (s)	Frequência registrada (rad/s)
1	20.2	0.93
2	19.3	0.98

3	20.0	0.94
4	20.5	0.92

*Tabela XIV: Precensão direta*

*Fonte: Elaborado pelos compiladores*

## 5. CONCLUSÃO

No primeiro experimento 1, o momento de inércia obtido através das análises das dimensões físicas e experimentais dos componentes em questão se aproxima muito do valor fornecido pela relação (XI) considerando a altura da qual a Roda de Maxwell é abandonada, possuindo suas respectivas incertezas vinculadas com possíveis erros experimentais e de parametrização do experimento em si. Consequentemente, tais resultados nos levam a deduzir que o cálculo do momento de inércia através das análises das dimensões físicas e experimentais é mais confiável, visto que este possui um erro relativo de aproximadamente 0.2%, em contraponto com o outro resultado obtido cujo erro relativo assume representação algébrica de aproximadamente 5.5%.

No experimento 2, tratando de choques rotacionais, foi constatado através do gráfico 1 o quanto a perda de energia cinética de rotação em função da atuação de forças dissipativas interfere em considerações experimentais, nos mostrando que em uma análise do gênero, a conservação de energia deve ser (ou não) concluída tendo como base as energias cinéticas de rotação imediatamente antes e após do choque, uma vez que esta não se conserva nem durante seu próprio movimento de rotação quando submetida a condições experimentais laboratoriais. Ademais, conclui-se que não houve conservação de energia durante os choques rotacionais, por mais que se considerasse as energias cinéticas de rotação imediatamente antes e após o choque, tal conservação não se provou eficiente, abrindo espaço para citar a presença de forças dissipativas inclusive durante o choque, acarretando possíveis dissipações térmicas e deformações plásticas ocasionais em ambas as peças estudadas. Novamente, comparando o momento de inércia da peça 1 obtido com o calculado através de suas propriedades geométricas no experimento 1, chega-se à conclusão de que o último é mais eficiente do que o primeiro, dado que esse leva em considerações magnitudes imutáveis a

níveis experimentais, enquanto aquele se fundamenta em um princípio não comprovado e que não previne lacunas provenientes da não conservação de energia do sistema.

Finalmente, o experimento 3 nos permite afirmar que a determinação da frequência de precessão do giroscópio é melhor estimada por meio do emprego da relação (IX) do que pelo registro de tempo efetuado por meio do cronômetro usado visto que aquele leva em consideração propriedades relativamente inalteráveis; por mais que a velocidade angular varia durante o movimento observado, tal oscilação não se basta para causar drásticas alterações na finalização do experimento, enquanto a determinação direta da frequência de precessão apresenta expressivas inconsistências, abrangendo falhas no momento exato de iniciar e encerrar a medição temporal, contando com aptidões humanas nem sempre tão precisas; configurando, conseqüentemente, um perfeito exemplo de erro estatístico.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

RESNICK, R.; HALLIDAY, D. Física. Rio de Janeiro: Livro Técnico S. A., 1973. v. 1.

TIPLER, P. A. Física. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1978. v. 1

BONAGAMBA, T. J.; SANTONI, E.; LASSO, P. R. O.; BRETAS, C. B.; GENTIL, A.. Construção de um conjunto experimental destinado a execução de práticas de rotação e oscilação de corpos rígidos. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 133-139, jun. 1995.