



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental

2ª Fase - 15 e 16 de Novembro de 2025

Nome: _____

Série: _____

Nível JA
Ensino Fundamental
6ª a 9ª série

Instruções de Prova

- I. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos das **6ª a 9ª série do ensino fundamental**. Ela contém 2 experimentos somando 100 pontos.
- II. A duração máxima desta prova é de **quatro horas**. Além do tempo de prova, serão concedidos **5 minutos** correspondentes ao preenchimento online do gabarito.
- III. É permitido o uso de calculadoras.
- IV. A prova deve ser feita individualmente e não é permitido falar sobre a solução das questões durante o período de aplicação da prova **dias 15 e 16 de Novembro de 2025**.
- V. Se necessário, e a menos que indicado ao contrário, use: aceleração gravitacional na superfície da terra $g = 10 \text{ m/s}^2$; calor específico da água líquida $c_a = 1 \text{ cal/(g}^\circ\text{C)}$; calor latente de fusão do gelo $L = 80 \text{ cal/g}$; $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$; densidade da água líquida $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$.

Apoio:





Curiosidades:

Jorge André Swieca (Varsóvia, 16 de dezembro de 1936 – Campos do Jordão, 22 de dezembro de 1980) foi um físico teórico polonês-brasileiro, considerado um dos mais brilhantes e influentes de sua geração. Professor na Universidade de São Paulo (USP) e na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), fez contribuições profundas e originais para a teoria quântica de campos. Seus trabalhos sobre quebra espontânea de simetria e a estrutura de superseleção em teorias de calibre são mundialmente reconhecidos. Sua morte prematura foi uma perda imensurável para a física brasileira. Em sua homenagem, a Sociedade Brasileira de Física (SBF) instituiu o "Prêmio Jorge André Swieca", uma das mais importantes distinções concedidas a teses de doutorado na área de física de partículas e teoria de campos no Brasil.



1 Cinemática de uma captura

Introdução

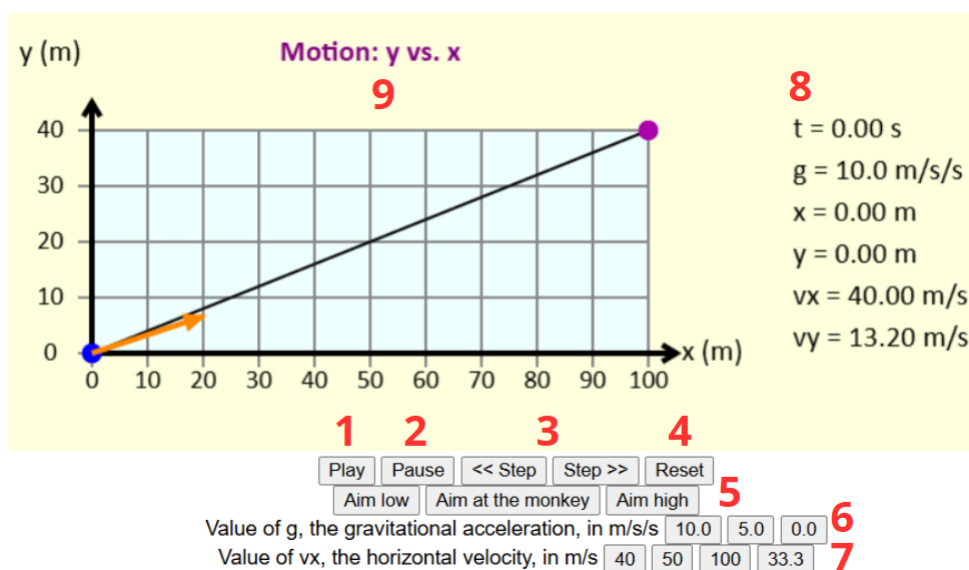
Um pesquisador deseja atingir um animal com um dardo tranquilizante para poder estudá-lo e, depois, devolvê-lo à natureza. Porém, o animal, que estava pendurado em uma árvore, cai no mesmo instante em que o dardo é atirado, proporcionando uma dificuldade maior para acertá-lo.

Durante todo o experimento, considere o animal como um ponto material e desconsidere a influência da resistência do ar. Em outras palavras, o movimento do dardo será um lançamento oblíquo sob a influência da gravidade da Terra, enquanto o movimento do animal será uma queda livre.

Durante este experimento, você pode desprezar as incertezas em seus cálculos.

Apresentando o simulador

Para realizar o experimento, utilizaremos um simulador criado por Andrew Duffy, que você pode acessar clicando [aqui](#). Assim que você acessar o simulador, se deparará com o seguinte cenário:



Nessa interface, podemos encontrar os seguintes elementos:

1. Ao apertar o botão "Play", a simulação começará. Se você pausar a simulação com o botão "Pause", aperte "Play" para que a simulação continue de onde parou.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



2. Ao apertar o botão "Pause", a simulação irá pausar, permitindo que você tire medidas de maneira mais controlada.
3. Os botões «<Step"e "Step»"servem para analisar a simulação em intervalos discretos de tempo. Ao apertar o primeiro, você retrocede a simulação em 0,01s. Ao apertar o último, você avança a simulação em 0,01s. Essa é uma ótima maneira de controlar suas medidas.
4. Ao apertar o botão "Reset", a simulação irá voltar para o tempo em que $t = 0$ s. Atenção: este botão NÃO reinicia as configurações do simulador, como a velocidade inicial e a gravidade local.
5. Aqui, você consegue controlar a maneira como o projétil será lançado. Ao apertar o botão "Aim low", o projétil será lançado em um ângulo menor em relação à horizontal. Ao apertar o botão "Aim high", o projétil será lançado em um ângulo maior com a horizontal. Ao apertar "Aim at the monkey", o projétil irá mirar no animal a cada instante da trajetória. Atenção: você pode apenas ativar uma dessas configurações por vez. Ao ativar uma, você automaticamente já desativa a anterior e a simulação recomeça.
6. Aqui, você pode controlar o valor da gravidade local dentre 3 valores: 10m/s^2 , 5m/s^2 e 0m/s^2 (sem gravidade). Atenção: você pode apenas ativar uma dessas configurações por vez. Ao ativar uma, você automaticamente já desativa a anterior e a simulação recomeça.
7. Aqui, você pode controlar a velocidade horizontal do projétil dentre 4 valores: 40m/s , 50m/s , 100m/s e $33,3\text{m/s}$. Perceba que essa velocidade é constante ao longo da trajetória. Atenção: você pode apenas ativar uma dessas configurações por vez. Ao ativar uma, você automaticamente já desativa a anterior e a simulação recomeça.
8. Nesta área, você pode visualizar alguns parâmetros da simulação que mudam ao longo da trajetória. Perceba que a gravidade g e a velocidade horizontal v_x são constantes ao longo da simulação, apesar de poderem ser variadas nas configurações originais. As coordenadas do projétil x (coordenada horizontal) e y (coordenada vertical) também são exibidas para qualquer instante de tempo t (que também é exibido). Por fim, a velocidade vertical do projétil ao longo da trajetória também é mostrada.
9. Nesta área, encontra-se um gráfico do movimento, que revela como as posições do projétil e do animal mudam com o passar do tempo. É preferível que você faça a maioria das medidas com respeito ao projétil por meio dos dados exibidos na direita, ao invés de usar o gráfico. Porém, o gráfico pode ser útil para tomar medidas acerca do animal.

Os textos escritos abaixo do simulador não são relevantes para realizar o experimento. Uma observação é importante é que o simulador sempre termina quando o projétil chega em $x = 100\text{m}$

Parte A: Movimento uniforme

Durante toda a realização dessa parte, configure a velocidade horizontal como 50m/s . Inicialmente, vamos obter alguns dados úteis.

Item A.1

(1 ponto)

Encontre o ângulo de lançamento inicial do projétil para cada uma das 3 configurações possíveis ("Aim low", "Aim high" e "Aim at the monkey") por meio de um procedimento experimental detalhado.

Agora, vamos nos concentrar no movimento uniforme realizado na direção horizontal. Configure o lançamento em "Aim low" nos próximos dois itens.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Item A.2

(5 pontos)

Faça uma tabela da posição x do projétil para diferentes instantes de tempo. Confirme por uma regressão entre os dados que a dependência entre os termos é linear e que é possível encontrar a velocidade horizontal por meio dessa regressão.

x (m)	t (s)

Tabela: x x t

Por fim, vamos analisar o movimento uniforme na direção vertical, que ocorre configurando a gravidade local como nula.

Item A.3

(5 pontos)

Faça uma tabela da posição y do projétil para diferentes instantes de tempo. Confirme por uma regressão entre os dados que a dependência entre os termos é linear e que é possível encontrar a velocidade vertical por meio dessa regressão.

y (m)	t (s)

Tabela: y x t

Parte B: Lançamento Oblíquo

Agora, iremos analisar o lançamento oblíquo realizado pelo projétil. Nesta parte, configure a gravidade local para ser $g = 10\text{m/s}^2$, a velocidade horizontal para ser $v_x=40\text{m/s}$ e a direção como "Aim high".

Item B.1

(5 pontos)

Faça uma tabela da velocidade vertical v_y do projétil para diferentes instantes de tempo. Confirme por uma regressão entre os dados que a dependência entre os termos é linear e que é possível encontrar a gravidade local por meio dessa regressão.

v_y (m/s)	t (s)

Tabela: v_y x t

Item B.2

(8 pontos)

Faça uma tabela da coordenada vertical y do projétil para diferentes valores da coordenada horizontal x .



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



y (m)	x (m)

Tabela: y x x

Item B.3

(8 pontos)

Linearize os dados da tabela anterior e registre tais dados linearizados em uma nova tabela. Por meio desse linearização, confirme que a trajetória do projétil é uma parábola.

$f(y)$	$g(x)$

Tabela: $f(y)$ x $g(x)$

Parte C: Curva de perseguição

Nesta parte, vamos focar na configuração "Aim at the monkey". Use uma velocidade horizontal de 33,3m/s e a gravidade local como 10m/s² durante esta parte;

Item C.1

(2 pontos)

Encontre, por meios teóricos, uma expressão para a distância entre os dois corpos como função do tempo e de parâmetros relevantes da simulação

Item C.2

(12 pontos)

Faça uma tabela registrando os seguintes valores para diferentes instantes: as posições x e y do projétil, o tempo, uma estimativa da posição y do animal e, por fim, um cálculo da distância entre os dois corpos r .

y' (m)	y (m)	x (m)	r (m)	t (s)

Tabela: y' x y x x x r x t

Item C.3

(4 pontos)

Faça uma regressão entre os seus dados e descubra os coeficientes da reta entre r e t . O seu resultado é compatível com o esperado?



2 Hidrostática e balanças!

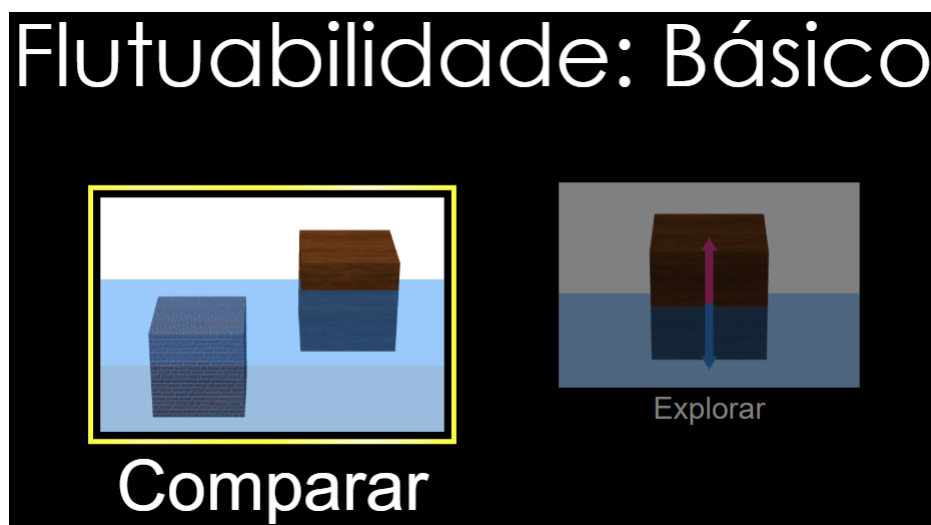
Introdução

Neste experimento, vamos estudar a física de objetos afundando em líquidos, com base em conceitos básicos de hidrostática. Além disso, vamos analisar como a inserção de uma balança modifica o experimento.

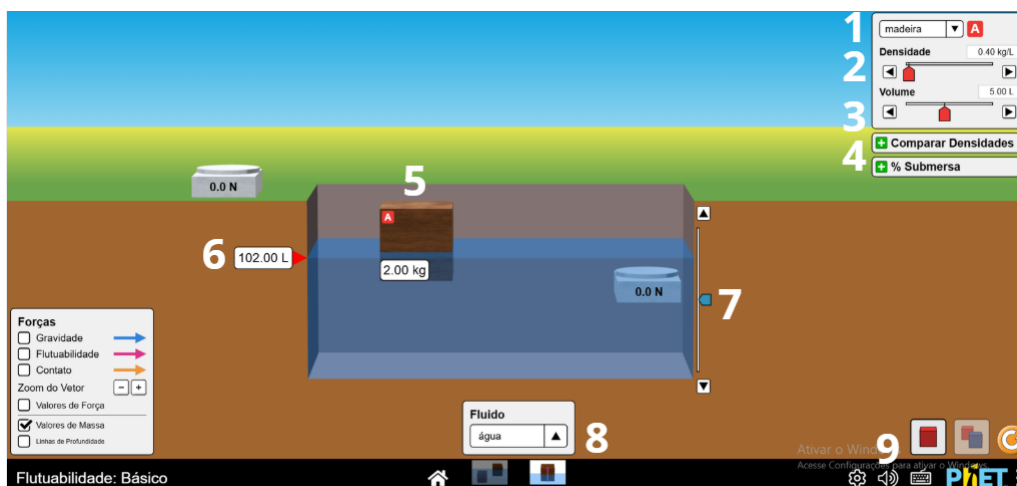
Durante este experimento, você pode desprezar incertezas em seus cálculos.

Apresentando o simulador

Para realizar o experimento, utilizaremos um simulador do PHET, que você pode acessar clicando [aqui](#). Assim que você acessar o simulador, se deparará com o seguinte cenário:



Atenção: Clique em "Explorar" e NÃO em "Comparar". Após clicar em explorar, a seguinte interface irá aparecer:



Nessa interface, podemos encontrar os seguintes elementos:

1. Aqui, você pode alterar o material do cubo. Esse botão é irrelevante para o experimento, já que você pode alterar as propriedades de outras maneiras melhores.
2. Aqui, você pode alterar a densidade do cubo como preferir.
3. Aqui, você pode alterar o volume do cubo como preferir.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



4. Ao apertar cada um desses botões "+", novas informações sobre a simulação serão mostradas a você. Elas são a densidade do líquido utilizado e a porcentagem de volume do cubo que está submersa. É recomendável que você deixe essas abas abertas durante todo o experimento.
5. Este é o cubo utilizado na simulação. Você pode movê-lo como quiser ao longo do espaço da simulação, segurando-o com o cursor do computador. Perceba também que a massa do cubo é informada dentro de um espaço branco localizado no canto inferior esquerdo.
6. Este espaço em branco mostra o volume da água presente somado com qualquer volume submerso.
7. Neste espaço, você pode alterar a altura da balança, que está presa à parede. Você pode fazer isso movendo a seta azul com o cursor ou apertando nos botões em formato de seta.
8. Aqui, você pode escolher o líquido que será utilizado na simulação. É importante destacar que cada líquido possui densidades diferentes, porém possui o mesmo volume.
9. Ao apertar este botão abaixo do número 9, você pode desativar o som da simulação, se assim preferir.

O simulador apresenta diversos outros botões e opções, mas esses outros recursos não são relevantes ao experimento.

Parte A: Relação entre volumes

Nesta parte, vamos analisar a física acerca da flutuabilidade do bloco e outros fatores relevantes. Por enquanto, use "mercúrio" como seu líquido escolhido.

Item A.1

(2 pontos)

Determine o volume da balança e o volume da água por meio de um detalhado procedimento experimental.

Item A.2

(5 pontos)

A porcentagem de volume submerso se relaciona diretamente com a densidade do cubo. Sendo assim, faça uma tabela com a porcentagem submersa para diferentes valores de densidade.

r (%)	ρ (kg/L)

Tabela: $r \times \rho$

Item A.3

(3 pontos)

Por meio de uma regressão entre os dados, determine o valor da densidade da água. Ele é compatível com o valor mostrado no simulador?

Parte B: Uso da balança

Agora, vamos analisar o papel da balança na nossa simulação. Considere a balança como um paralelepípedo. Durante esta parte, você pode variar os valores da densidade e do volume do cubo conforme achar melhor. Porém, use água como seu líquido!



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Item B.1

(5 pontos)

Estime a gravidade local, a área da balança e a altura da balança por meio de um detalhado procedimento experimental.

A partir de agora, sempre deixe o cubo diretamente acima da balança. Certifique-se de que eles realmente estejam em contato, pois isso será importante. Além disso, considere que o volume submerso se refere apenas ao volume do cubo e não ao da balança.

Item B.2

(5 pontos)

Registre a força de contato medida pela balança (Normal) para diferentes valores de volume submerso em uma tabela. Lembre-se de manter o volume e a densidade do cubo constantes ao longo de suas medidas.

F (N)	V_S (L)

Tabela: F x V_S

Item B.3

(8 pontos)

Faça um gráfico com os dados anteriores. Por meio do método gráfico ou uma regressão linear, determine os coeficientes da reta.

Item B.4

(3 pontos)

Nos últimos itens, nós verificamos que a relação entre as grandezas é linear nas condições mostradas. Agora, demonstre esse resultado teoricamente e encontre a força de contato em função dos parâmetros da simulação. O seu resultado é condizente com os coeficientes encontrados no item anterior?

Agora que sabemos a fórmula para tal força, podemos analisar uma outra dependência interessante. A partir de agora, mantenha a altura da balança constante e escolha uma altura de forma que, *para qualquer volume*, o cubo ainda se mantenha entre a água e o ar, sem estar completamente em um meio nem no outro.

Item B.5

(8 pontos)

Mantendo a densidade do cubo constante, registre medidas da força de contato para diferentes valores do volume cubo.

F (N)	V (L)

Tabela: F x V



Item B.6

(8 pontos)

Com base na equação teórica encontrada no item B4, linearize seus dados da maneira que achar mais conveniente e registre seus novos dados linearizados em uma tabela.

$f(F)$	$g(V)$

Tabela: $f(F) \times g(V)$

Item B.7

(3 pontos)

Por meio de uma regressão linear ou pelo método gráfico, encontre os coeficientes da linearização feita. Mostre que eles são condizentes com o esperado pelo seu desenvolvimento teórico anterior.

3 Solução

3.1 Cinemática de uma captura

Parte A: Movimento uniforme

Solução A.1

A tangente do ângulo de lançamento é simplesmente a razão entre a velocidade vertical inicial e a velocidade horizontal do projétil. Porém, nós podemos facilmente medir essas velocidades no nosso simulador. Assim, usando a função de "arctan" da calculadora, podemos encontrar os seguintes ângulos:

$$\theta_1 \approx 18,26^\circ$$

$$\theta_2 \approx 26,57^\circ$$

$$\theta_3 \approx 21,8^\circ$$

Para respectivamente "Aim low", "Aim high" e "Aim at the monkey". Não há nenhum problema em registrar os ângulos em radianos.

Solução A.2



Fazendo a tabela:

Tabela: $x \times t$

$x(\text{m})$	$t(\text{s})$
0	0
5	0,1
10	0,2
15	0,3
20	0,4
25	0,5
30	0,6
35	0,7
40	0,8
45	0,9
50	1,0
55	1,1
60	1,2
65	1,3
70	1,4
75	1,5
80	1,6
85	1,7
90	1,8
95	1,9
100	2,0

Fazendo um regressão entre os dados obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= 50 \\ A &= 0 \end{aligned}$$

Como esperado, é possível encontrar o valor da velocidade horizontal $v = 50\text{m/s}$.

Solução A.3 Fazendo a tabela:

Tabela: $y \times t$



$y(\text{m})$	$t \text{ (s)}$
0	0
1,65	0,1
3,30	0,2
4,95	0,3
6,60	0,4
8,25	0,5
9,90	0,6
11,55	0,7
13,20	0,8
14,85	0,9
16,50	1,0
18,15	1,1
19,80	1,2
21,45	1,3
23,10	1,4
24,75	1,5
26,40	1,6
28,05	1,7
29,70	1,8
31,35	1,9
33,00	2,0

Fazendo uma regressão entre os dados obtemos:

$$Y = A + BX$$
$$B = 16,5$$
$$A = 0$$

Como esperado, é possível encontrar o valor da velocidade horizontal $v = 16,5\text{m/s}$.

Parte B: Lançamento oblíquo

Solução B.1 Fazendo a tabela:

Tabela: $v_y \times t$



$v_y(\text{m/s})$	$t \text{ (s)}$
20	0,0
19	0,1
18	0,2
17	0,3
16	0,4
15	0,5
14	0,6
13	0,7
12	0,8
11	0,9
10	1,0
9	1,1
8	1,2
7	1,3
6	1,4
5	1,5
4	1,6
3	1,7
2	1,8
1	1,9
0	2,0
-1	2,1
-2	2,2
-3	2,3
-4	2,4
-5	2,5

Fazendo uma regressão entre os dados obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -10 \\ A &= 20 \end{aligned}$$

Como esperado, é possível encontrar o valor da gravidade local $g = 10\text{m/s}^2$.

Solução B.2

Fazendo a tabela:

Tabela: $y \times x$



$y(\text{m})$	$x \text{ (m)}$
0,00	0
1,95	4
3,80	8
5,55	12
7,20	16
8,75	20
10,20	24
11,55	28
12,80	32
13,95	36
15,00	40
15,95	44
16,80	48
17,55	52
18,20	56
18,75	60
19,20	64
19,55	68
19,80	72
19,95	76
20,00	80
19,95	84
19,80	88
19,55	92
19,20	96
18,75	100

Solução B.3

A equação de uma parábola é da forma:

$$y = ax^2 + bx + c$$

Como $y = 0$ em $x = 0$, o termo c é nulo neste caso. Se dividirmos ambos os lados por x , obtemos:

$$\frac{y}{x} = ax + b$$

Logo, y/x varia linearmente com x . Essa será a linearização que usaremos, porém saiba que existem outras maneiras.

Fazendo uma tabela com os novos dados linearizados, obtemos:

Tabela: y/x x x



y/x	x (m)
0,4875	4
0,4750	8
0,4625	12
0,4500	16
0,4375	20
0,4250	24
0,4125	28
0,4000	32
0,3875	36
0,3750	40
0,3625	44
0,3500	48
0,3375	52
0,3250	56
0,3125	60
0,3000	64
0,2875	68
0,2750	72
0,2625	76
0,2500	80
0,2375	84
0,2250	88
0,2125	92
0,2000	96
0,1875	100

Fazendo uma regressão entre os dados obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -3,13 \cdot 10^{-3} \\ A &= 0,5 \end{aligned}$$

Além disso, obtemos que os dados possuem uma ótima correlação linear, o que confirma que essa a trajetória realmente é parabólica.

Parte C: Curva de perseguição

Solução C.1

Em um referencial que também cai com a aceleração da g , o movimento que o projétil percorre é um MRU, enquanto o animal fica está parado. Logo, a separação entre os dois corpos(r) diminui linearmente com o tempo:

$$r = r_0 - vt$$



Solução C.2

As medidas foram feitas buscando variar y' a cada 5m. Assim, fica muito mais fácil estimar y' corretamente. Fazendo a tabela:

Tabela: $y' \times y \times x \times r \times t$

y'	y	x	r	t
40	0	0	107,7	0
35	8,3	33	72,12	0,99
30	8,87	46,67	57,36	1,40
25	8,10	57,67	45,58	1,73
20	6,73	66,33	36,19	1,99
15	4,69	75	27,04	2,25
10	2,65	81,67	19,75	2,45
5	0,09	88,67	12,35	2,66
0	-2,31	94,33	6,122	2,83

Solução C.3 Fazendo a regressão entre os dados, obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -35,9 \cdot 10^{-3} \\ A &= 108 \end{aligned}$$

Então, a velocidade relativa entre os corpos vale 35,9m/s. É previsto que a velocidade relativa é uma constante, que é a velocidade original do projétil. Podemos calcular a velocidade no começo do movimento:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{13,33^2 + 33,33^2} \approx 35,9\text{m/s} \quad (1)$$

Ou seja, nosso resultado é coerente com o resultado com o esperado.



Olimpíada Brasileira Online de Física Experimental



Marking Scheme

Parte A — 11.0 pts	Pts
A.1 - Por descrever corretamente como se obter tal ângulo	0.5
A.1 - Por valores corretos	0.5
A.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
A.2 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,4 pontos por medida faltante.	4.0
A.3 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
A.3 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,4 pontos por medida faltante.	4.0
Parte B — 21.0 pts	Pts
B.1 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
B.1 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,4 pontos por medida faltante.	4.0
B.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
B.2 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,7 pontos por medida faltante.	7.0
B.3 - Corretamente encontrar uma maneira de se realizar a linearização.	2.0
B.3 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
B.3 - Por corretamente apresentar os dados linearizados em uma tabela. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,5 pontos por medida faltante.	5.0
Parte C — 18.0 pts	Pts
C.1 - Por corretamente encontrar que tal distância varia linearmente com o tempo.	1.0
C.1 - Por expressão correta.	1.0
C.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada coluna.	1.0
C.2 - Por descrever corretamente como estimou a posição do animal.	2.0
C.2 - Pontuação cheia será fornecida para quem fizer 5 medidas ou mais por quantidade. Será descontado 1,8 pontos para cada linha de medida faltante. Se o aluno não escreveu as medidas de algum dos colunas, pontos também serão descontados.	9.0
C.3 - Por obter corretamente os coeficientes da reta.	3.0
C.3 - Por mostrar que o resultado é condizente com o valor da velocidade inicial do projétil.	1.0
TOTAL	40.0



3.2 Hidrostática e balanças

Parte A: Relação entre volumes

Solução A.1 Basta levantar a balança acima do nível da água. Assim, o volume medido vai de 100,00L para 98,20L. Dessa forma, o volume da água vale 98,20L e o da balança $100,00 - 98,20 = 1,80\text{L}$.

OBSERVAÇÃO: O volume de todos os líquidos são os mesmos. Não há problema em fazer com mercúrio, que era para ser o líquido utilizado nestas primeiras partes. Durante todos os itens desta parte, o estudante podia fazer o experimento com mercúrio ou água, já que existia uma certa confusão no enunciado sobre qual líquido deveria ser usado.

Solução A.2

Fazendo a tabela:

Tabela: $r \times \rho$

$r(\%)$	$\rho(\text{kg/L})$
3,7	0,50
7,4	1,00
11,0	1,50
14,7	2,00
18,4	2,50
22,1	3,00
25,7	3,50
29,4	4,00
33,1	4,50
36,8	5,00
40,5	5,50
44,1	6,00
47,8	6,50
51,5	7,00
55,2	7,50
58,9	8,00
62,5	8,50
66,2	9,00
69,9	9,50
73,6	10,0

OBSERVAÇÃO: Será considerada a questão igualmente caso o estudante tenha usado água como seu líquido.

Solução A.3 Fazendo uma regressão entre os dados, obtemos:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= 7,36 \\ A &= 7,19 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

O equilíbrio hidrostática nos fornece a equação:



$$\frac{V_s}{V} = \frac{1}{\rho_m} \rho$$

Onde V_s é o volume submerso e ρ_m é a densidade do mercúrio. Temos que:

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{1}{13,59} \approx 0,0736$$

Como esperado, esse valor é 100 vezes menor que B(já que fizemos medidas com respeito a porcentagens). Assim, o valor encontrado é compatível com o valor da simulação

OBSERVAÇÃO: Será considerada a questão igualmente caso o estudante tenha usado água como seu líquido.

Parte B: Uso da balança

Solução B.1 É possível estimar a gravidade analisando o peso medido na balança, quando a mesma está acima do nível da água. Fazendo isso, obtemos $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Podemos estimar a área da balança analisando como ela se comparada com a área de uma face do cubo. Tais áreas são aproximadamente iguais quando o volume do cubo é de $V = 3,5\text{L}$. Assim, podemos estimar a área do cubo:

$$A \approx L^2 = V^{2/3} \approx 2,31(\text{dm})^2 = 2,31 \cdot 10^{-2}\text{m}^2$$

O volume da balança pode ser determinado levantando a mesma acima do nível da água. Analisando como a medição de volume muda, percebe-se que $V_B = 1,80\text{L}$. Com isso, podemos obter um valor aproximado para a altura da balança $h = V_B/A \approx 0,78\text{dm} = 7,8 \cdot 10^{-2}\text{m}$.

Solução B.2



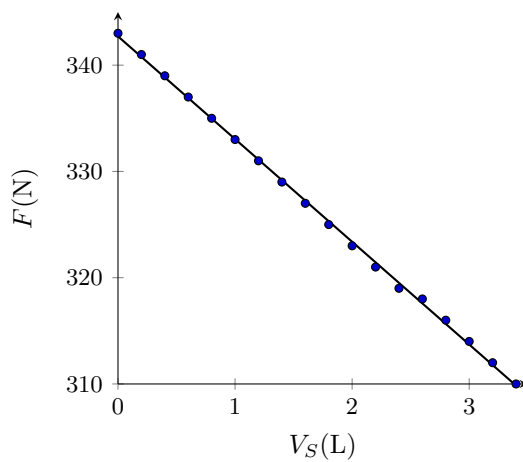
Fazendo a tabela:

Tabela: $F \times V_S$

$F(\text{N})$	$V_S(\text{L})$
343	0,00
341	0,200
339	0,40
337	0,60
335	0,80
333	1,00
331	1,20
329	1,40
327	1,60
325	1,80
323	2,00
321	2,20
319	2,40
318	2,60
316	2,80
314	3,00
312	3,20
310	3,40

Solução B.3 Fazendo o gráfico e realizando a regressão:

Gráfico: $F \times V_S$



$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -9,8 \\ A &= 343 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$



Solução B.4 Podemos escrever a equação de equilíbrio:

$$mg = \rho_a g h A + F$$

Onde $\rho_a g h A$ é o termo da força de empuxo. Perceba que h é a altura submersa, A é área de uma face do cubo e ρ_a é a densidade da água. Assim, podemos escrever:

$$F = g(m - \rho_a h V^{2/3})$$

Nós podemos facilmente encontrar h como o volume submerso dividido pela área de uma face do cubo. Nos próximos itens, h será uma constante.

Solução B.5

Fazendo a tabela:

Tabela: $F \times V$

$F(\text{N})$	$V(\text{L})$
90.0	1,00
136.4	1,50
183.0	2,00
229.8	2,50
276.7	3,00
323.7	3,50
370.8	4,00
417.9	4,50
465.1	5,00
512.3	5,50
559.6	6,00
606.8	6,50
654.1	7,00
701.5	7,50
748.8	8,00
796.2	8,50
843.5	9,00
890.9	9,50
938.3	10,0

Solução B.6 A equação teórica em função do volume fica:

$$F = g(\rho V - \rho_a h V^{2/3})$$

Assim, ao dividir por V , a expressão fica:

$$\frac{F}{V} = g(\rho - \rho_a h V^{-1/3})$$



Assim, F/V é linear com $V^{-1/3}$. Fazendo uma tabela com os dados linearizados:

Tabela: Dados linearizados

$F/V(\text{N/L})$	$V^{-1/3}(\text{L}^{-1/3})$
90,0	1,00
90,9	0,874
91,5	0,794
91,9	0,737
92,2	0,693
92,5	0,659
92,7	0,630
92,9	0,606
93,0	0,585
93,1	0,567
93,3	0,550
93,4	0,536
93,4	0,523
93,5	0,511
93,6	0,500
93,7	0,490
93,7	0,481
93,8	0,472
93,8	0,464

Solução B.7 Fazendo um regressão entre os dados, obtêm-se:

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ B &= -0,14 \\ A &= 13,6 \end{aligned}$$

OBSERVAÇÃO: A regressão foi feita considerando mais casas decimais na tabela linearizada. Fazer com menos dígitos implicaria em resultados menos preciso, apesar disso ser o mais comum de se fazer durante a prova.



Marking Scheme

Parte A — 10.0 pts	Pts
A.1 - Por detalhar o procedimento corretamente	0.5
A.1 - Por valores corretos	0.5
A.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
A.2 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,4 pontos por medida faltante.	4.0
A.3 - Por corretamente obter os coeficientes da regressão	2.0
A.3 - Por encontrar o valor da densidade do líquido escolhido	1.0
Parte B — 30.0 pts	Pts
B.1 - Por detalhar o procedimento corretamente	2.5
B.1 - Por valores corretos	2.5
B.2 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
B.2 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,4 pontos por medida faltante.	4.0
B.3 - Por corretamente apresentar o gráfico, destacando unidades e o que significa as quantias de cada eixo.	1.0
B.3 - Por corretamente fazer o gráfico. Será descontado 0,6 pontos para cada ponto apresentado no gráfico, com pontuação máxima de 6 pontos.	6.0
B.3 - Por encontrar os coeficientes da reta.	1.0
B.4 - Por corretamente encontrar a equação	2.0
B.4 - Por mostrar que é condizente com os coeficientes encontrados.	1.0
B.5 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada coluna.	1.0
B.5 - Por corretamente tomar uma quantidade aceitável de medidas. Será dado pontuação cheia para tabelas com 10 medidas ou mais. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado um 0,7 pontos por medida faltante.	7.0
B.6 - Corretamente encontrar uma maneira de se realizar a linearização.	2.0
B.6 - Por corretamente apresentar a tabela, destacando unidades e o que significa as quantias de cada coluna.	1.0
B.6 - Por corretamente apresentar os dados linearizados em uma tabela. Se o aluno fizer menos de 10 medidas, será descontado 0,5 pontos por medida faltante.	5.0
B.7 - Por encontrar os coeficientes	2.0
B.7 - Por mostrar que eles são condizentes com o esperado	1.0
TOTAL	40.0