

# F129 – Atividade Experimental 1

## Determinação do alcance de uma esfera lançada de uma rampa

### Introdução

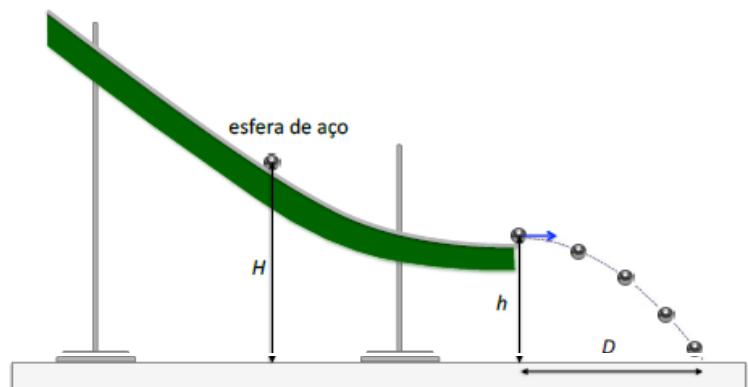
Uma esfera que é lançada de uma altura  $H$  de uma rampa (ver Figura 1) e deixa a mesma, horizontalmente, a uma altura  $h$ , em relação ao solo, vai percorrer uma trajetória parabólica até tocar o solo a uma distância  $D$  da origem do lançamento, que é definido como o alcance da esfera. Este pode ser medido usando um instrumento de medição de distância, como uma trena ou uma régua milimetrada. A incerteza associada a uma única medição do alcance  $D$  está relacionada à precisão do instrumento de medida analógico e outras fontes relacionadas ao método de medição. Se a esfera for lançada novamente, sob os mesmos valores de  $H$  e  $h$ , em geral observa-se que o novo alcance tem um valor diferente do primeiro. Repetindo o procedimento várias vezes obtém-se sempre valores diferentes, todos em torno de um valor central  $\bar{D}$ . Esta dispersão é causada por vários fatores que ocorrem ao longo do trajeto da esfera entre  $H$  e  $h$ , e são relacionados principalmente com o atrito entre a rampa e a esfera que nunca é exatamente o mesmo em cada lançamento além de ser muito difícil de se quantificar. Influências sistemáticas como um pequeno impulso na hora de soltar a esfera da altura  $H$ , ou ainda vibrações causadas quando alguém encosta na bancada durante o lançamento também podem influenciar. Sabemos que em experimentos deste tipo, os alcances  $D_i$  se dispersam em torno de um valor central  $\bar{D}$  - o valor médio do alcance - e que a distribuição dos alcances tende a ser descrita por uma distribuição Normal ou Gaussiana, quanto maior for o número de lançamentos  $N$  (pelo menos maior do que 20).

Neste experimento, o alcance  $\bar{D}$ , e as incertezas associadas, de esferas lançadas horizontalmente serão determinadas de modo a permitir uma comparação com a previsão teórica.

### Procedimento

Os materiais necessários para este experimento são:

- Esferas de aço e de madeira;
- Rampa de lançamento;
- Nível de bolha de ar;
- Régua milimetrada (importante para a determinação das incertezas associadas às medidas de comprimento);
- Papel carbono;
- Papel milimetrado;
- Prumo de linha;



A Figura 1 apresenta um esquema da montagem que será utilizada neste experimento. Ajuste a altura da rampa para que a sua extremidade esteja em uma altura entre 15 e 20 cm acima da bancada. Use o nível de bolha para nivelar horizontalmente o final da rampa. Verifique se uma esfera colocada no final da rampa permanece em repouso. Veja mais dicas no final deste roteiro.

1. Escolha a altura de lançamento,  $H$ , da esfera. A esfera deve ser solta sempre da mesma posição a partir do repouso. **Como esta condição inicial pode ser garantida experimentalmente?**
2. Faça a medição da altura de lançamento da esfera,  $H$ , e da distância entre o final da rampa e a bancada,  $h$ . Estas distâncias devem ser medidas a partir do centro de uma esfera colocada na

posição correspondente. Faça estimativas conservadoras das fontes de incerteza que afetam estas medições: leitura da régua, localização do centro da esfera, paralaxe. Não esqueça das unidades. Calcule a incerteza combinada que deverá ser associada ao resultado da medição. Este procedimento deve ser feito para **uma esfera de madeira (M)** e **posteriormente para uma esfera de aço (A)**.

*OBS: Quando há mais de uma fonte de incerteza identificável numa medição, todas elas devem ser levadas em conta em uma única incerteza combinada. Se há  $n$  fontes de incerteza, quantificadas com os valores numéricos  $u_1, u_2, \dots, u_n$ , a incerteza combinada é dada por:*

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}$$

Logo, considere que para a medida dessas alturas temos como principais fontes de incerteza (consulte o conteúdo da vídeo-aula AER 01):

- Incerteza instrumental ( $u_{\text{inst}}$ ) associada ao equipamento de medida (régua milimetrada) do tipo análogo: 0,2 mm (**Verificar!**)
- Se julgar necessário, use também a incerteza devido à paralaxe: 1 mm. Obs: Paralaxe pode causar imprecisão na leitura se observador e instrumento não estiverem devidamente alinhados. Consulte mais sobre o assunto em fontes específicas e na www e decidam se devem considerar este tipo de incerteza nos cálculos.

Sugestão: sempre que possível, organizar os seus resultados em tabelas como o exemplo abaixo

Tabela 1. Registro de medida e estimativas de incerteza de um mensurando.

Melhor estimativa	Inceteza de leitura da régua	Inceteza de localização do centro da esfera	Inceteza de paralaxe	Inceteza estatística	Inceteza combinada

3. Considerando que a energia potencial gravitacional é totalmente transformada em energia cinética e utilizando os valores de  $H$  e  $h$ , encontre a previsão teórica para o melhor valor numérico do alcance  $\bar{D}$ .
4. Coloque uma folha de papel milimetrado sobre a bancada, centrada na posição prevista no item 3 e marque com um X a posição onde se espera que a esfera toque a bancada. Marque a posição da folha, por exemplo, fazendo um leve contorno a lápis ao seu redor, para que ela se movimente durante o experimento.
5. Coloque uma folha de papel carbono sobre a folha de papel milimetrado e lance a esfera de **madeira** num total de 100 vezes. Para evitar sobreposição de manchas, desloque lateralmente a folha, tomando o cuidado de não alterar a posição em relação ao final da rampa.
6. Troque a folha de papel carbono por outra de cor diferente e faça lançamentos repetidos com a esfera de **aço**. Não é necessário fazer 100 lançamentos como no caso da esfera de madeira. Repita o número de vezes necessário para que a área de dispersão dos pontos fique bem definida.
7. A partir dos dados obtidos para as **esferas de madeira e aço** obtenha os alcances  $D_i$  para cada ponto de impacto no papel e construa uma tabela com todos os valores considerados pelo grupo.
8. A partir destes dados construa os histogramas de alcances para a esfera de madeira e de aço. (Veja um exemplo de histograma na Fig. 2). Para isto, ordene os dados na coluna da tabela em

ordem crescente de valores. Para cada esfera defina qual o tamanho do intervalo do histograma,  $\Delta$ , de acordo com a Fig. 2.

9. **Aproximação gráfica do valor médio e desvio-padrão.** Utilizando os conhecimentos adquiridos nas aulas e no material de apoio disponibilizado, desenhe a partir dos histogramas construídos no **item 8**, uma curva Gaussiana aproximada e determine o valor médio do alcance  $\bar{d}$  e o desvio-padrão para a **esfera de aço** e a **esfera de madeira**.

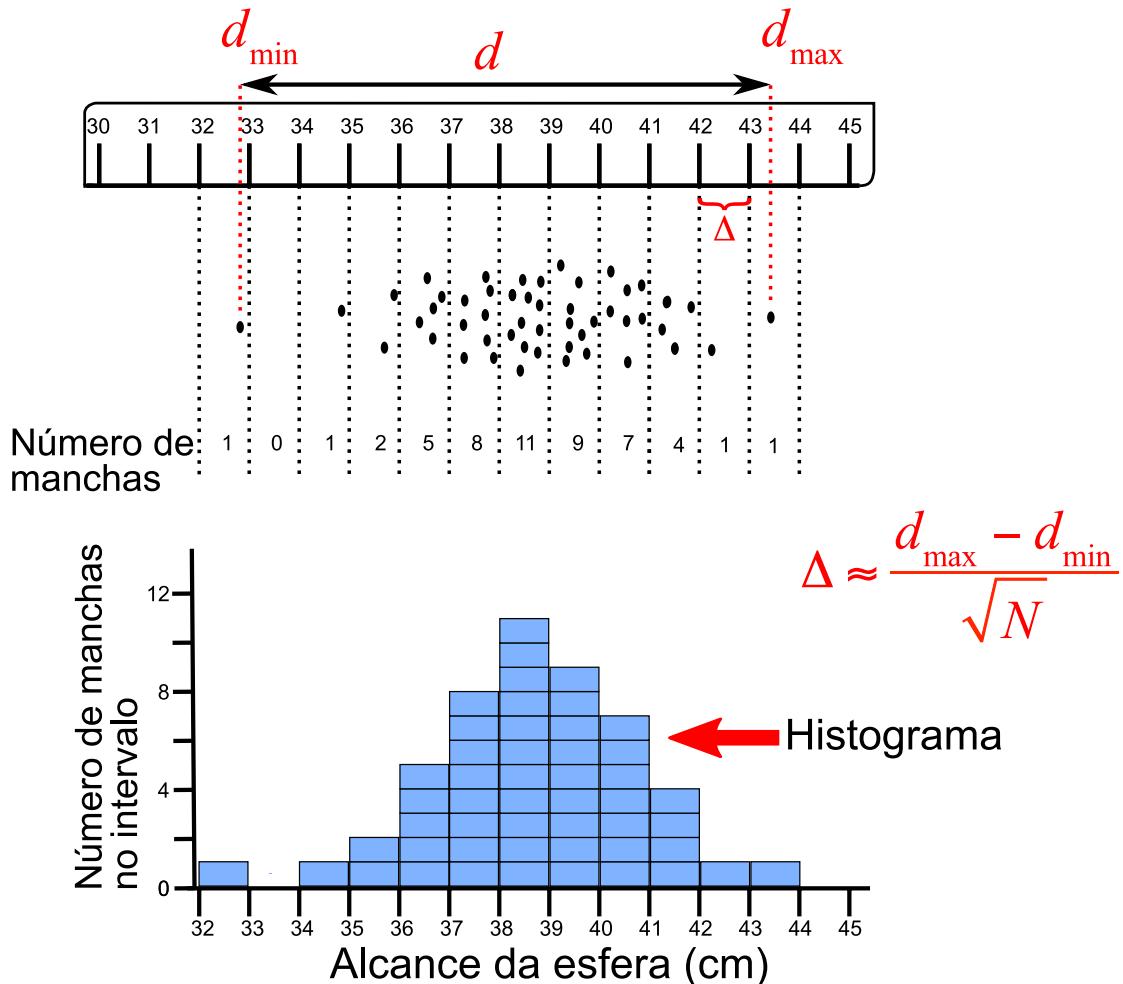


Figura 2 Histograma das manchas de impacto da esfera.

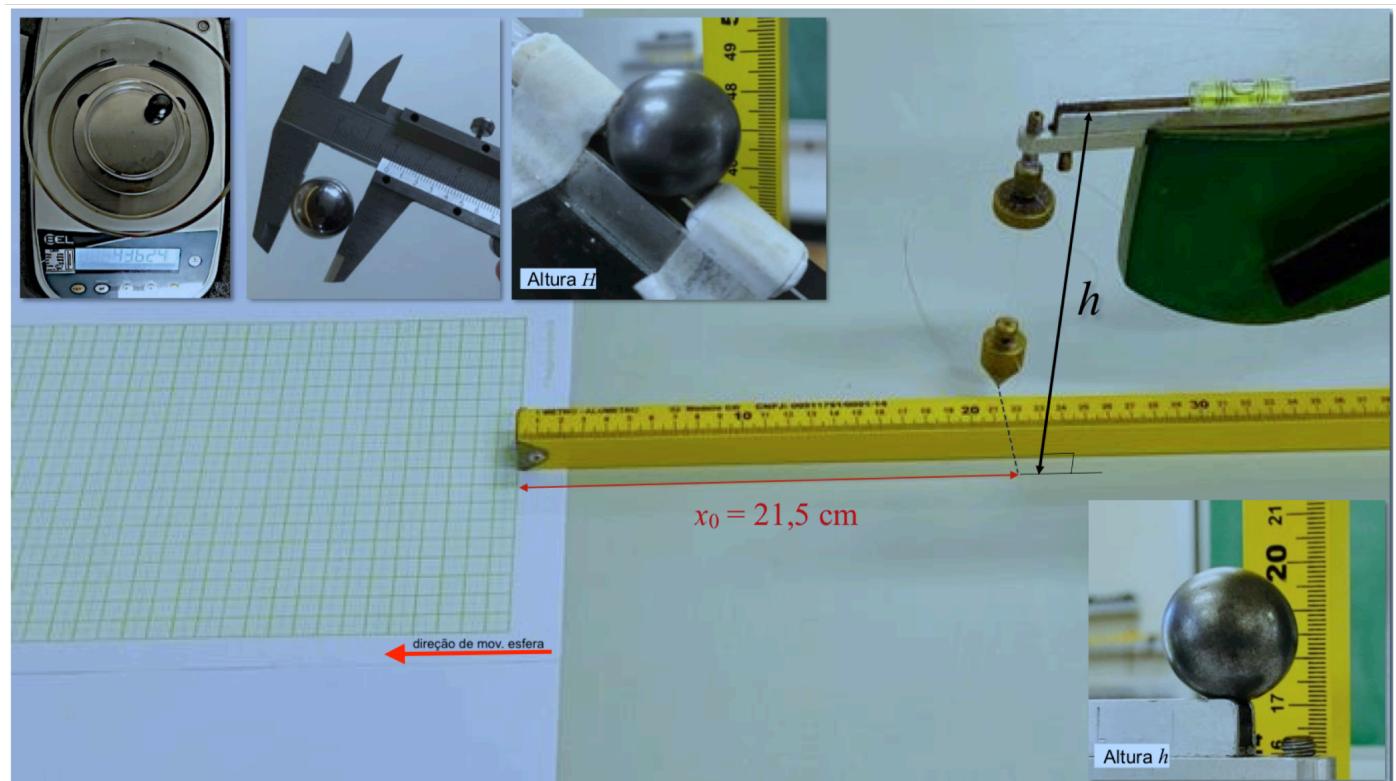
10. **Cálculo do valor médio e desvio-padrão.** Utilize agora os dados que vocês inseriram na tabela obtidos a partir das manchas para calcular o valor médio e o desvio padrão da distribuição do valor individual dos alcances das esferas de madeira e aço. Vocês podem fazer este cálculo usando os  $N$  resultados escolhidos ou ainda utilizar uma média ponderada, i.e. considerar, para todos os intervalos, o alcance médio de cada intervalo vezes a frequência do mesmo e usar o mesmo raciocínio para o cálculo do desvio-padrão. Se for necessário, solicite ajuda aos PADs para calcular a média ponderada e seu desvio padrão.
11. Os alcances das esferas de aço e de madeira, embora levemente diferentes, são bem menores do que o alcance teórico que vocês calcularam na **Questão 3**. Dentre os vários fenômenos físicos não considerados nos cálculos, há um mais relevante e que pode ser calculado com certa facilidade dentro do escopo de Física 1. Que fenômeno físico é este? Refaça o cálculo considerando este fenômeno e discuta.
12. **Apresente em uma tabela contendo todos os dados relevantes para o alcance** (Inclua também a incerteza proveniente da análise estatística: desvio-padrão da média ( $\sigma / \sqrt{N} = u_{\text{est}}$ )

Tabela 2. Valores finais para o alcance de cada uma das esferas.

Previsão teórica 1	Previsão teórica 2	Melhor estimativa do alcance	Incerteza combinada para o alcance	Incerteza de localização do centro da esfera	Incerteza de paralaxe	Incerteza estatística $u_{est}$	Incerteza de leitura da régua

### Dicas práticas para realização do experimento.

- 1) Medir o peso das esferas assim como seus diâmetros. Use o auxilio do prumo para medir a distância  $x_0$  (Fig. 3). Para o exemplo da Fig. 3 usamos  $H=47,0$  cm e  $h=18,5$  cm.
- 2) Na medida do possível, alinhar o eixo do trilho e a borda da folha do gráfico com a borda da mesa. Marcar na folha do gráfico a direção de lançamento das esferas (Fig.3).
- 3) Para a esfera de metal, a cada cinco lançamentos é necessário deslocar a folha do gráfico lateralmente. No caso da esfera de madeira, se necessário, faça o deslocamento a cada 50 lançamentos.



**Figura 3** Dicas da montagem do experimento.

### Bibliografia

- Halliday, Resnick e Walker. Fundamentos da Física, Volume 1, editora LTC.  
Kirkup e Frenkel. An Introduction to Uncertainty in Measurement, editora Cambridge.